

**KARAKTERISASI DSSC PADA SEMIKONDUKTOR ZnO-SiO₂
DENGAN PEWARNA EKSTRAK BUAH MANGSI
DAN DAUN JATI**

SKRIPSI



Oleh:
VERA FIRMANILA
NIM. 12640020

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2016**

**KARAKTERISASI DSSC PADA SEMIKONDUKTOR ZnO-SiO₂ DENGAN
PEWARNA EKSTRAK BUAH MANGSI DAN DAUN JATI**

SKRIPSI

Diajukan kepada:

**Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

Oleh:

**VERA FIRMANILA
NIM. 12640020**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2016**

HALAMAN PERSETUJUAN

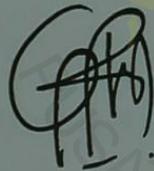
**KARAKTERISASI DSSC PADA SEMIKONDUKTOR ZnO-SiO₂ DENGAN
PEWARNA EKSTRAK BUAH MANGSI DAN DAUN JATI**

SKRIPSI

Oleh:
VERA FIRMANILA
NIM. 12640020

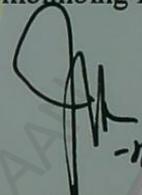
Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji,
Pada tanggal: 20 Juni 2016

Pembimbing I



Erna Hastuti, M.Si
NIP. 19811119 200801 2 009

Pembimbing II



Umayyatus Syarifah, M.A
NIP. 19820925 200901 2 005

Mengetahui,
Ketua Jurusan



Erna Hastuti, M.Si
NIP. 19811119 200801 2 009

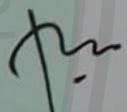
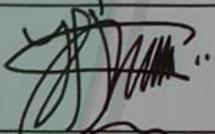
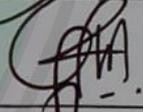
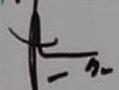
HALAMAN PENGESAHAN

KARAKTERISASI DSSC PADA SEMIKONDUKTOR ZnO-SiO₂ DENGAN PEWARNA EKSTRAK BUAH MANGSI DAN DAUN JATI

SKRIPSI

Oleh:
VERA FIRMANILA
NIM.12640020

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan Dinyatakan Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si) Tanggal:.....2016

Penguji Utama	: <u>Farid Samsu Hananto, M.T</u> NIP. 19740513 200312 1 001	
Ketua Penguji	: <u>Imam Tazi, M.Si</u> NIP. 19740730 200312 1 002	
Sekretaris Penguji	: <u>Erna Hastuti, M.Si</u> NIP. 19811119 200801 2 009	
Anggota Penguji	: <u>Umayatus Syarifah, M.Si</u> NIP. 19820925 200901 2 005	

Mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika


Erna Hastuti, M.Si
NIP. 19811119 200801 2 009

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Vera Firmanila
NIM : 12640020
Jurusan : Fisika
Fakultas : Sains Dan Teknologi
Judul Penelitian : Karakterisasi DSSC Pada Semikonduktor ZnO-SiO₂
Dengan Pewarna Ekstrak Buah Mangsi dan Daun Jati

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-banar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber kutipan pada daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 20 Juni 2016

Yang Membuat Pernyataan,

Vera Firmanila
NIM. 12640020

MOTTO

Memahami lebih indah daripada hznya sekedar tau. Ia yang tidak memalingkan nasehat, dan mencari apa yang baginya rahasia dan berharga.

*Belajarlh memahami dari sebuah ilmu
Ilmu menjaga engkau, dan ilmu menjaga harta
Karena ia menjaga, dan ia terjaga*



HALAMAN PERSEMBAHAN

*Atas berkah, rahmat dan lindungan Allah SWT. Beserta
Rasul-Nya Nabi Muhammad SAW sebagai panutanaku.*

Larya Kecil ini Kupersembahkan Untuk:

Keluarga Tercinta

*Karya ini kupersembahkan untuk kedua orang tuaku, bapak **Famuji** dan ibu **Indayati** yang selama ini sudah menjadi orang tua terbaik dan selalu memberikan cintanya untukku. Untuk ponakan-ponakanku tercinta **Jajag, Ega,** dan **Arsyad** yang sudah menjadi penghiburku selama ini. Dan teruntuk saudara-saudaraku tercinta*

Sahabat-sahabatku

*Dear sahabat **Abdul Baqi, Lestari Indria Sari, Mukarromah, Naufal Fadli Nahwi, Ali Zaenudin, Wiji Wulansari.** Terima kasih atas kesetiaan dan kekonnyolan kalian selama ini. Kelemahan diriku tertutup oleh sahabatku, dan kelebihanku adalah bagian dari kehebatan sahabatku*

Sahabat-sahabat MSC dan Fisika 2012

Terima kasih untuk teman-teman material atas kerjasama dan dukungan yang selama kalian berikan, kalian penuh motivasi, nasehat, dan penuh kebaikan-kebaikan yang lain. Terima kasih untuk fisika 2012 atas waktu yang kalian berikan untuk berbagi rasa, cinta dan cerita, hingga aku lupa waktu 4 tahun yang sangat berharga segera berlalu..

Kawan-kawanku satu kos

*Untuk kawan-kawan satu kos, **Uul, Putri, Eni.** Terima kasih sudah menjadi kawan baikku, yang mau mendengarkan curahan hati selama ini. Tiada yang lebih indah daripada kasih seorang kawan.*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Alhamdulillah puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya. Sholawat dan salam semoga selalu tercurahkan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad SAW, keluarga, sahabat, serta pengikutnya. Atas ridho dan kehendak Allah SWT penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **Karakterisasi DSSC Pada Semikonduktor ZnO-SiO₂ Dengan Pewarna Ekstrak Buah Mangsi dan Daun Jati** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) di Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Selanjutnya penulis haturkan ucapan terima kasih seiring do'a dan harapan *jazakumullah ahsanal jaza'* kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini. Ucapan terima kasih ini penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. H. Mudjia Rahardjo, M.Si selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah banyak memberikan pengetahuan dan pengalaman yang berharga.
2. Dr. drh. Bayyinatul Muchtaromah, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Erna Hastuti, M.Si selaku Ketua Jurusan dan Dosen Pembimbing Skripsi yang telah banyak meluangkan waktu dan memberikan bimbingan, bantuan serta pengarahan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
4. Umaiatus Syarifah, M.A selaku Dosen Pembimbing Agama, yang bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan pengarahan bidang integrasi Sains dan al-Qur'an.
5. Segenap Dosen, Laboran dan Admin Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah bersedia mengamalkan ilmunya, membimbing dan memberikan pengarahan serta membantu selama proses perkuliahan.
6. Kedua orang tua dan semua keluarga yang telah memberikan dukungan, restu, serta selalu mendoakan disetiap langkah penulis.

7. Teman-teman dan para sahabat terima kasih atas kebersamaan dan persahabatan serta pengalaman selama ini.
8. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Semoga skripsi ini bisa memberikan manfaat, tambahan ilmu dan dapat menjadikan inspirasi kepada para pembaca *Aamiin Yaa Rabbal Alamin*.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Malang, 20 Juni 2016



DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
ABSTRAK	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan	6
1.4 Manfaat	6
1.5 Batasan Masalah.....	7
BAB II KAJIAN PUSTAKA	
2.1 Sel Surya	8
2.1.1 Sel Surya Anorganik.....	8
2.1.2 Sel Surya Organik.....	12
2.2 <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> (DSSC)	14
2.2.1 Pengertian Umum	14
2.2.2 Cara Kerja DSSC	16
2.2.3 Performansi DSSC.....	17
2.2.4 Material DSSC	19
2.3 Deposisi Lapisan Elektroda Kerja.....	31
2.3.1 <i>Doctor-blade</i>	31
2.3.2 <i>Electrospinning</i>	32
2.3.3 <i>Screen Printing</i>	32
2.3.4 <i>Cold Praying</i>	33
2.4 Spektrofotometer UV-Vis	33
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Jenis Penelitian.....	36
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	36
3.3 Alat dan Bahan	36
3.3.1 Alat Penelitian	36
3.3.2 Bahan Penelitian	37
3.4 Prosedur Penelitian.....	38
3.4.1 Rancangan Penelitian.....	38
3.4.2 Diagram Alir Penelitian	42
3.5 Teknik Pengambilan Data	43
3.5.1 Karakterisasi Lapisan ZnO-SiO ₂	43

3.5.2 Pengujian Sifat Listrik DSSC	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Data Hasil Penelitian.....	44
4.1.1 Preparasi Sampel.....	44
4.1.2 Hasil Karakterisasi UV-Vis Lapisan ZnO-SiO ₂	47
4.1.3 Hasil Uji Sifat Listrik	48
4.2 Pembahasan.....	55
4.3 Sel Surya DSSC dalam Perspektif Islam	62
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Efisiensi Sel <i>Photovoltaic</i>	9
Gambar 2.2	Struktur Lapisan Tipis Sel Surya Secara Umum.....	10
Gambar 2.3	<i>Junction</i> Antara Semikonduktor Tipe-p dan Tipe-n.....	11
Gambar 2.4	Struktur <i>Dye-Sensitized Solar Cell</i>	15
Gambar 2.5	Skema Kerja dari DSSC	16
Gambar 2.6	Karakteristik I-V Sel Surya.....	18
Gambar 2.7	Struktur Kristal ZnO.....	21
Gambar 2.8	Struktur Silika Tetrahedral	23
Gambar 2.9	Spektrum Absorpsi ZnO-SiO ₂	24
Gambar 2.10	Perbesaran Absorpsi <i>Dye</i> Pada Substrat dan Oksida Semikonduktor	25
Gambar 2.11	Buah Mangsi.....	25
Gambar 2.12	Struktur Kation Flavilium.....	26
Gambar 2.13	Analisa Spektra UV-Vis <i>Sensitizer</i> Ekstrak Buah Mangsi, Dadap Merah, dan Rhodamin B	27
Gambar 2.14	Beberapa Jenis Struktur Antosianin	28
Gambar 2.15	Analisa Spektra UV-Vis <i>Sensitizer</i> Ekstrak Daun Jati	29
Gambar 2.16	Struktur Karbon	31
Gambar 2.17	Skema Kerja Spektrofotometer UV-Vis	35
Gambar 3.1	Pelapisan <i>Scotch Tape</i> Pada Substrat TCO	39
Gambar 3.2	Susunan DSSC.....	41
Gambar 4.1	Hasil Plot Grafik Absorbansi Sebagai Fungsi Panjang Gelombang Lapisan ZnO-SiO ₂ Menggunakan Ekstrak Buah Mangsi dan Daun Jati	48
Gambar 4.2	Skematik Rangkaian Uji Listrik DSSC	49
Gambar 4.3	Kurva Karakteristik I-V DSSC Bermaterial <i>Dye</i> Buah Mangsi Dengan Lama Perendaman 6 Jam Menggunakan Lampu Halogen.....	51
Gambar 4.4	Kurva Karakteristik I-V DSSC Bermaterial <i>Dye</i> Daun Jati Dengan Lama Perendaman 6 Jam Menggunakan Lampu Halogen.....	51
Gambar 4.5	Kurva Karakteristik I-V DSSC Bermaterial <i>Dye</i> Buah Mangsi Dengan Lama Perendaman 6 Jam Menggunakan Matahari	52
Gambar 4.6	Kurva Karakteristik I-V DSSC Bermaterial <i>Dye</i> Daun Jati Dengan Lama Perendaman 6 Jam Menggunakan Matahari	53
Gambar 4.7	Pengaruh Lama Perendaman Terhadap Efisiensi DSSC Menggunakan Sumber Cahaya Lampu Halogen	54

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sifat Fisis Dasar ZnO Dalam Ukuran Besar (<i>Bulk</i>)	21
Tabel 2.2	Karakteristik Silika Amorf	22
Tabel 2.3	Bentuk Kristal Utama Silika	23
Tabel 2.4	Daftar Panjang Gelombang Sinar Tampak Dan Warna – Warna.....	33
Tabel 3.1	Tabel Pengujian Spektrofotometer UV-Vis	43
Tabel 3.2	Tabel Pengujian Listrik Dssc	43
Tabel 4.1	Absorbansi Maksimum Lapisan ZnO-SiO ₂ Dengan Ekstrak Buah Mangsi dan Daun Jati	47
Tabel 4.2	Hasil Uji Listrik DSSC Dengan <i>Dye</i> Buah Mangsi dan Daun Jati Di Bawah Lampu Halogen.....	50
Tabel 4.3	Hasil Uji Listrik DSSC Dengan <i>Dye</i> Buah Mangsi dan Daun Jati Di Bawah Matahari	52
Tabel 4.4	Hasil Perhitungan Efisiensi DSSC Dengan Sumber Cahaya Lampu Halogen.....	53

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Proses Pembuatan DSSC
- Lampiran 2 Data Hasil Karakterisasi UV-Vis Lapisan ZnO-SiO₂
- Lampiran 3 Data Hasil Uji Listrik DSSC



ABSTRAK

Firmanila, Vera. 2016. **Karakterisasi DSSC Pada Semikonduktor ZnO-SiO₂ Dengan Pewarna Ekstrak Buah Mangsi dan Daun Jati**. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Erna Hastuti, M.Si (II) Umaiyyatus Syarifah, M.A

Kata kunci: Sel surya, ZnO-SiO₂, Dye buah mangsi, Dye daun jati

Energi alternatif mulai dikembangkan untuk menggantikan energi fosil yang tidak dapat diperbaharui. DSSC merupakan salah satu kandidat potensial sel surya sebagai sumber energi listrik alternatif. Penelitian DSSC dilakukan untuk mengetahui sifat optis (absorbansi dan panjang gelombang), serta efisiensi DSSC menggunakan *dye* buah mangsi dan daun jati. Pembuatan elektroda kerja dilakukan dengan pembuatan pasta ZnO-SiO₂ yang dilapiskan pada substrat kaca konduktif, kemudian direndam dalam *dye*. *Counter* elektroda dibuat dengan cara melapiskan grafit pensil 2B pada kaca konduktif, kemudian diberi gel elektrolit yang mengandung pasangan redoks I⁻/I₃⁻ dan PEG. Sel surya dibentuk dengan struktur *sandwich*, yaitu dua substrat kaca konduktif mengapit komponen-komponen dari DSSC. Absorbansi maksimum lapisan ZnO-SiO₂ yang direndam pada *dye* buah mangsi sebesar 4,669 a.u, sedangkan yang direndam pada *dye* daun jati sebesar 2,669 a.u. Pengujian sifat listrik DSSC dilakukan dengan variasi lama perendaman selama 6 jam, 12 jam, dan 18 jam. DSSC menggunakan *dye* buah mangsi dan daun jati menghasilkan efisiensi maksimum pada lama perendaman 6 jam, masing-masing sebesar $1,3 \times 10^{-3}$ % dan $0,074 \times 10^{-3}$ %. Hasil Penelitian menunjukkan bahwa DSSC dengan *dye* buah mangsi menghasilkan performa sel yang lebih baik daripada dengan *dye* daun jati.

ABSTRACT

Firmanila, Vera. 2016. **Characterization Of DSSC On ZnO-SiO₂ Semiconductor by *Phyllanthus reticulatus Poir* and *Tectona grandis* Ekstract Powder.** Thesis. Physics department, Faculty of Science and Technology, the State Islamic University (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisor: (I) Erna Hastuti, M.Si (II) Umaiatus Syarifah, M.A

Keywords: DSSC, ZnO-SiO₂, *Phyllanthus reticulatus Poir* dye, *Tectona grandis* dye

Alternative energy was developed to replace fossil energy which can't be renewed. DSSC was one potential candidate solar cells as an alternative source of electrical energy. DSSC research is done to know the optical properties (absorbance and wavelength), as well as the efficiency of DSSC that using *Phyllanthus reticulatus Poir* and *Tectona grandis*. Making of working electrode was done by making of ZnO-SiO₂ paste that was coated on a conductive glass substrate, then soaked into dye. Counter electrode was made by coat the 2B pencil graphite on conductive glass, then given a gel electrolyte contained a redox couple of I⁻/I₃⁻ and PEG. The solar cell was formed by the sandwich structure, which were two conductive glass substrate sandwiching components of DSSC. The maximum absorbance of ZnO-SiO₂ layer soaked into *Phyllanthus reticulatus Poir* was 4,669 a.u, while soaked into the *Tectona grandis* dye was 2,669 a.u. Testing the electrical properties of DSSC was done by variations of dipping time 6 hours, 12 hours and 18 hours. DSSC used *Phyllanthus reticulatus Poir* and *Tectona grandis* dye result maximum efficiency at 6 hours, each of $1,3 \times 10^{-3} \%$ and $0,074 \times 10^{-3} \%$. The results of research showed that DSSC by *Phyllanthus reticulatus Poir* dye produce better cell perform than *Tectona grandis* dye.

المخلص

فيرمانيا، فيرا. ٢٠١٦. توصيف DSSC في أشباه الموصلات ZnO-SiO₂ استخراج الفاكهة الحبر صبغ وأوراق خشب الساج. بحث جامعي. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة الإسلامية الحكومية مولانا مالك إبراهيم مالانج. المشرفة: (I) إرنا هستوتي الماجستير (II) أمية الشريفة الماجستير

كلمات الرئيسية: DSSC، ZnO-SiO₂ وصبغ الفواكه حبر، صبغ أوراق خشب الساج

وقد تم تطوير الطاقة البديلة لتحل محل الطاقة الأحفورية التي لا يمكن تجديدها. DSSC هي واحدة خلايا المرشحة المحتملة الطاقة الشمسية كمصدر بديل للطاقة الكهربائية. أجرى أبحاثا DSSC لتحديد الخصائص البصرية (الامتصاصية والطول الموجي)، فضلا عن كفاءة DSSC باستخدام صبغة dye فاكهة الحبر وأوراق الساج. مما يجعل القطب العمل المنجز وهي مغلفة صنع المعكرونة ZnO-SiO₂ على ركيزة الزجاج موصل، ثم غارقة في صبغة dye. يتكون القطب Counter المضاد من قبل بتركيب 2B قلم رصاص الغرافيت على الزجاج موصل، ثم يعطى بالكهرباء هلام يحتوي على زوجين الأكسدة I⁻/I₃⁻ لربط PEG. يتم تشكيل الخلايا الشمسية التي كتبها هيكل ساندويتش، الذي هو ركيزة الزجاج موصل يقحم عنصرين من DSSC. يتم استيعابه القصى الامتصاصية طبقة ZnO-SiO₂ في وصبغ الفواكه حبر يعي 4,669 a.u ، في حين أن أوراق خشب الساج غارقة في صبغ يعي 2,669 a.u. اختبار الخواص الكهربائية DSSC تفعل مع وجود اختلافات في غمس مرة ٦ ساعات، ١٢ ساعة و ١٨ ساعة. DSSC باستخدام الفواكه صبغة الحبر والأوراق أقصى قدر من الكفاءة وخشب الساج في ٦ ساعات تمرغ الوقت، كل من 1,3×10⁻³ % و 0,074×10⁻³ %. تظهر البحث أن DSSC مع الحبر صبغ dye الفاكهة تنتج أفضل خلية من بأوراق صبغ dye خشب الساج.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu sumber energi yang mutlak dibutuhkan oleh manusia adalah energi listrik. Berdasarkan laporan *Lux Research, Inc*, yang dirilis pada Oktober 2012 mengungkapkan bahwa cadangan energi fosil sebagai energi listrik diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 54 tahun mendatang. Dengan keadaan semakin menipisnya sumber energi fosil, penggunaan energi melalui sel surya merupakan alternatif yang paling potensial. Hal ini dikarenakan jumlah energi matahari yang sampai ke bumi sangat besar, sekitar 700 Megawatt setiap menitnya. Bila dikalkulasikan, jumlah ini 10.000 kali lebih besar dari total konsumsi energi dunia (Sari dkk, 2013).

Matahari juga disebutkan dalam al Qur'an surat al-Furqan (16): 61:

تَبَارَكَ الَّذِي جَعَلَ فِي السَّمَاءِ بُرُوجًا وَجَعَلَ فِيهَا سِرَاجًا وَقَمَرًا مُنِيرًا ﴿٦١﴾

“Mahasuci Allah yang menjadikan di langit gugusan bintang-bintang dan dia juga menjadikan padanya (matahari) yang bersinar dan bulan bercahaya.” (Q.S. al-Furqan: 61).

Matahari bersinar dinyatakan sebagai (سِرَاجًا) sedangkan bulan (قَمَرًا) bercahaya dinyatakan sebagai (مُنِيرًا). Matahari mempunyai sumber cahaya sendiri dari reaksi nuklir sedangkan bulan merupakan pantulan dari sinar matahari. Tidak ada reaksi nuklir di bulan seperti di matahari. Kata *nur* yang berasal dari akar kata *nun, waum, dan ra* artinya yang umum adalah cahaya bentuknya tunggal. Kata *nur* juga dipergunakan bagi Allah SWT yang berarti Pemberi dan Pemilik cahaya bagi

seluruh yang bercahaya di alam semesta (Juoro, 2011). Cahaya matahari yang sampai ke Bumi terdiri dari paket-paket yang disebut kuantum, serta memiliki energi foton sebesar $h\nu$.

Indonesia sangat berpotensi untuk menjadikan sel surya sebagai salah satu sumber energi listrik, mengingat posisi Indonesia pada garis khatulistiwa yang memungkinkan sinar matahari dapat optimal diterima di seluruh Indonesia, sehingga mampu mengatasi kerusakan lingkungan akibat penggunaan bahan bakar fosil dan *global warming*.

Sel surya bekerja menggunakan energi matahari dengan mengkonversi secara langsung radiasi matahari menjadi listrik. Sel surya yang banyak digunakan sekarang ini adalah sel surya generasi pertama, yang berbasis silikon hasil perkembangan pesat teknologi semikonduktor elektronik. Sel surya lebih didominasi oleh bahan silikon sehingga biaya konsumsinya lebih mahal daripada sumber energi fosil. Selain itu kekurangan dari sel surya silikon adalah penggunaan bahan kimia berbahaya pada proses fabrikasinya. Pada penelitian selanjutnya muncul sel surya generasi kedua yang berbasis lapisan tipis berbahan silikon. Lapisan yang digunakan pada metode ini juga terbuat dari bahan semikonduktor lain seperti *Cadmium Telluride* (CdTe) dan *Copper Indium Gallium Selenide* (CIGS). Sel surya ini dapat dideposisi pada substrat yang lentur sehingga menghasilkan rangkaian sel surya yang fleksibel. Namun, kehadirannya belum menjadi salah satu alternatif penggunaan energi listrik karena bahannya mampu menimbulkan polusi yang berbahaya jika terbakar.

Semakin berkembangnya nanoteknologi, dominasi tersebut bertahap mulai tergantikan dengan hadirnya sel surya generasi ketiga, yaitu sel surya yang terbuat dari bahan alami *dye-sensitized solar cell* (DSSC). DSSC merupakan salah satu kandidat potensial sel surya sebagai sumber energi listrik, hal ini dikarenakan tidak memerlukan material dengan kemurnian tinggi sehingga biaya produksinya relatif rendah. Berbeda dengan sel surya konvensional yang semua proses melibatkan material silikon, pada DSSC absorpsi cahaya dan separasi muatan oleh inorganik semikonduktor nanokristal yang memiliki *band gap* lebar.

Material semikonduktor yang sering digunakan adalah metal oksida (keramik) seperti TiO_2 , SnO_2 , dan ZnO . TiO_2 sering digunakan sebagai bahan DSSC karena memiliki *band gap* cukup lebar sekitar 3,2 – 3,8 eV, sifat optis yang baik, inert, serta tidak berbahaya. Selain TiO_2 , salah satu oksida logam yang banyak diteliti dan diaplikasikan adalah ZnO . Dalam beberapa tahun terakhir ini, penelitian ZnO sering menjadi perhatian dalam bidang elektronik, *optic*, dan *photonics*. ZnO adalah semikonduktor yang memiliki *band gap* 3,37 eV pada temperatur kamar, sehingga berpotensi dalam berbagai aplikasi, misalnya DSSC dan sensor (Haliq dan Susanti, 2014).

ZnO murni tidak berwarna dan transparan, serta keuntungannya memiliki *band gap* besar seperti mampu bertahan pada tegangan yang tinggi, kemampuan dalam mempertahankan medan listrik yang besar, dan kemampuan temperatur operasi yang tinggi. Sebagian besar ZnO memiliki karakteristikasi *n-type* semikonduktor, bahkan tanpa adanya *dopant*. Hal ini dikarenakan adanya cacat kristal alami ZnO seperti *oxygen excess*, dan atom intersisi dari *zinc*. Kelebihan

ZnO antara lain memiliki *band gap* dengan level pita konduksi yang hampir sama dengan pita konduksi TiO₂. Oksida seng mengkristal dalam tiga bentuk, yaitu *wurtzite* heksagonal, *zinblende* kubik, dan jarang diamati kubik *rocksalt*. Struktur *wurtzite* paling stabil dan dengan demikian yang paling umum pada kondisi stabil. Bentuk *zinblende* dapat distabilkan dengan ZnO yang tumbuh pada substrat dengan struktur kisi kubik (Haliq dan Susanti, 2014).

Bahan metal oksida lain adalah SiO₂, SiO₂ merupakan bahan semionduktor tipe-p dan bersifat sangat inert, hidrofilik, mempunyai kestabilan termal dan mekanik yang tinggi. SiO₂ juga memiliki porositas dan luas permukaan yang lebar sehingga memiliki kemampuan absorpsi *dye* lebih besar daripada TiO₂, yang implikasinya akan menaikkan jumlah cahaya terserap.

Penelitian DSSC terus dikembangkan dengan berbagai teknologi dan metode penelitian. Rasyidi (2015) menyebutkan bahwa nilai absorbansi bahan komposit ZnO-SiO₂ (3:7) mengalami peningkatan dengan bertambahnya suhu kalsinasi. Absorbansi tertinggi terjadi pada suhu 673 °C sebesar 0,214. Sedangkan, energi *gap* tertinggi yaitu pada suhu 600 °C sebesar 3,2 eV. Dengan melihat nilai *band gap* >3 eV, serta kelebihan dari masing-masing bahan seperti ZnO yang memiliki *band gap* sekitar 3,37 eV dan SiO₂ dengan sifat absorptifnya yang tinggi, maka diharapkan bahan komposit ZnO-SiO₂ mampu menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi dari TiO₂.

Penggunaan bahan *dye* yang mampu menyerap spektrum cahaya yang lebar dan cocok dengan nilai *band gap* bahan komposit ZnO-SiO₂ juga merupakan faktor yang sangat penting. Molekul *dye* yang mampu mengabsorpsi

cahaya adalah bahan-bahan alami, yang memiliki antosianin seperti buah mangsi dan daun jati. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Sari dkk (2012), bunga dadap merah memiliki intensitas serapan yang paling tinggi dibandingkan dengan rhodamin B dan buah mangsi, namun rentang panjang gelombang serapan senyawa ini lebih sempit dibanding dengan rentang serapan buah mangsi. Hal ini mengakibatkan nilai efisiensi konversi pewarna *sensitizer* ekstrak buah mangsi lebih besar dibanding efisiensi konversi *sensitizer* ekstrak dadap merah, ekstrak buah mangsi memiliki kandungan flavonoid dengan serapan maksimum ± 3 a.u pada panjang gelombang 500–600 nm di daerah *visible*. Sunardi dan Kartika (2012) menyatakan bahwa rangkaian DSSC dengan ekstrak daun jati memiliki efisiensi lebih besar jika dibandingkan dengan dadap merah dan rhodamin B. Sedangkan menurut yang dilakukan oleh Yulianti (2015), ekstrak daun jati memiliki absorbansi lebih besar daripada ekstrak temu ireng, yaitu sebesar 0,106 a.u pada panjang gelombang 332,9 nm di daerah UV.

Pada penelitian ini dilakukan pengembangan DSSC dengan variasi lama perendaman bahan semikonduktor ZnO-SiO₂, yang dilapiskan pada substrat kaca LCD sebagai pengganti kaca ITO, menggunakan ekstrak buah mangsi dan daun jati sebagai *dye sensitizer*. Hasil perendaman elektroda kerja kemudian dirakit dengan *counter* elektroda membentuk DSSC. Rakitan DSSC kemudian diukur tegangan dan kuat arus menggunakan multimeter terhadap iluminasi cahaya lampu halogen dan matahari untuk mengetahui performa sel surya.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh ekstrak buah mangsi dan daun jati terhadap absorbansi lapisan semikonduktor ZnO-SiO₂?
2. Bagaimana pengaruh ekstrak buah mangsi dan daun jati terhadap efisiensi DSSC pada semikonduktor ZnO-SiO₂?
3. Bagaimana pengaruh variasi lama perendaman terhadap efisiensi DSSC pada semikonduktor ZnO-SiO₂?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui pengaruh ekstrak buah mangsi dan daun jati terhadap absorbansi lapisan semikonduktor ZnO-SiO₂.
2. Untuk mengetahui pengaruh ekstrak buah mangsi dan daun jati terhadap efisiensi DSSC semikonduktor ZnO-SiO₂.
3. Untuk mengetahui pengaruh variasi lama perendaman terhadap efisiensi DSSC semikonduktor ZnO-SiO₂.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Dapat mengetahui salah satu aplikasi dari bahan semikonduktor ZnO-SiO₂
2. Mampu mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil yang selama ini
3. Sebagai informasi mengenai besar efisiensi DSSC menggunakan bahan

1.5 Batasan Masalah

1. Bahan semikonduktor yang digunakan adalah ZnO dan SiO₂ dalam bentuk serbuk.

2. Lapisan semikonduktor ZnO-SiO₂ direndam pada ekstrak buah mangsi dan daun jati sebagai *dye sensitizer*.
3. Rangkaian DSSC kemudian dikarakterisasi berdasarkan sifat listrik dan optisnya yang meliputi: absorbansi, tegangan, dan efisiensi.



BAB II KAJIAN PUSTAKA

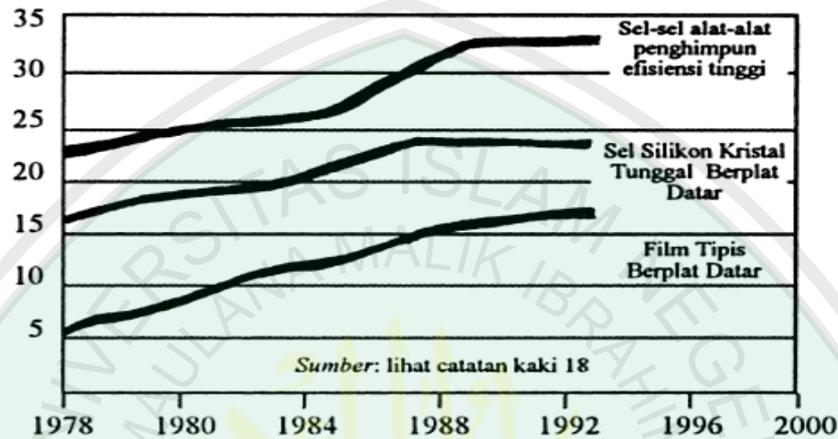
2.1 Sel Surya

2.1.1 Sel Surya Anorganik

Sel surya anorganik disusun dengan menggabungkan silikon jenis p dan jenis n. Silikon jenis p yakni silikon yang bersifat positif karena kekurangan elektron, sedangkan silikon jenis n adalah silikon yang bersifat negatif akibat dari kelebihan elektron. Ilmuwan Prancis, Edmund Becquerel pada tahun 1839 menemukan bahwa cahaya yang jatuh pada materi tertentu dapat menyebabkan percikan listrik yang dikenal dengan *photoelectric effect*, sehingga muatan ini dapat diperbanyak untuk menghasilkan arus listrik (Flavin, 1995). Pada tahun 1954, peneliti *Bell Telephone* menemukan pertama kali sel surya silikon berbasis *p-n junction* dengan efisiensi 6 %. Saat ini, sel surya silikon mendominasi pasar sel surya dengan pangsa pasar sekitar 82 % dengan efisiensi lab dan komersil berturut-turut sebesar 24,7 % dan 15 %, yang berkekuatan lima kali lebih besar daripada sel selenium terbaik (Septina dkk, 2007).

Saat ini, total kebutuhan energi di seluruh dunia mencapai 10 Terra Watt (setara dengan 3×10^{20} Joule/ tahun) dan diprediksi jumlah ini akan terus meningkat hingga mencapai 30 Terra Watt pada tahun 2030. Sementara, total energi matahari yang sampai di permukaan bumi adalah $2,6 \times 10^{24}$ Joule setiap tahunnya. Sebagai perbandingan, energi yang bisa dikonversi melalui proses fotosintesis di seluruh permukaan bumi mencapai $2,8 \times 10^{21}$ J setiap tahunnya. Dapat diperkirakan bahwa jumlah energi yang dibutuhkan dan dibandingkan

dengan energi matahari di permukaan bumi, sebenarnya mampu menutup 0,05 % luas permukaan bumi (total luas permukaan bumi adalah $5,1 \times 10^8 \text{ km}^2$) dengan sel surya yang memiliki efisiensi 20 % (Yuliarto, 2011).

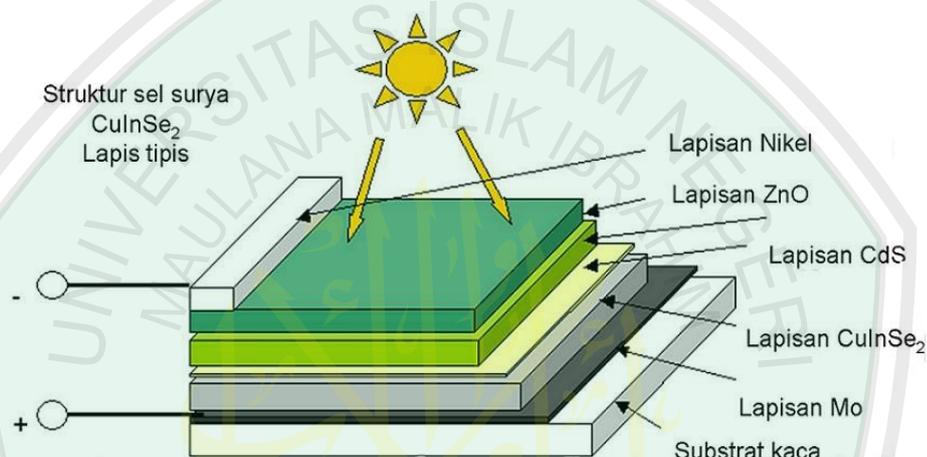


Gambar 2.1 Efisiensi Sel *Photovoltaic*, pada 1978 hingga Februari 1994 (Flavin, 1995)

Penelitian yang sedang diteliti oleh para peneliti, yaitu mengembangkan sel surya dengan efisiensi tinggi yang terbuat dari bahan baku, seperti *gallium arsenide* yang mencapai efisiensi 33 %. Sel-sel seperti ini dapat dibuat dengan lensa dan kaca pemantul yang memfokuskan sinar ke dalamnya, sehingga sangat mengurangi bahan semikonduktor. Alat penghimpun (*concentrators*) ini tidak mampu menggunakan sinar matahari yang tersebar, sehingga alat ini lebih cocok digunakan di daerah tinggi dan panas seperti gurun pasir dan daerah kering lainnya (Flavin, 1995).

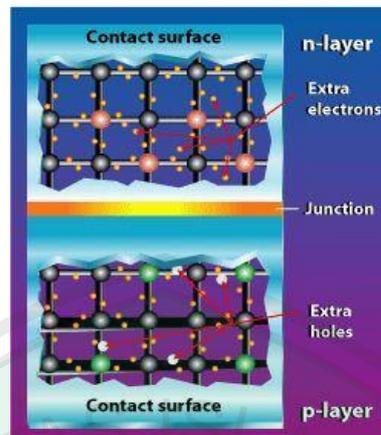
Secara sederhana sel surya terdiri dari persambungan bahan semikonduktor. Material semikonduktor adalah suatu padatan seperti logam yang konduktivitas elektriknya ditentukan oleh elektron valensinya. Namun, berbeda

dengan logam yang konduktivitasnya menurun dengan kenaikan temperatur, material semikonduktor konduktivitasnya akan meningkat secara *significant* (Handini, 2008). Bahan semikonduktor pada sel surya terdiri dari tipe-p dan n (*p-n junction semiconductor*), jika tertimpa sinar matahari akan terjadi aliran elektron, yang disebut aliran arus listrik (Widodo, 2003).



Gambar 2.2 Struktur Lapisan Tipis Sel Surya Secara Umum (Widodo, 2003)

Kondisi kelebihan elektron dan *hole* tersebut bisa terjadi dengan mendoping material dengan atom *dopant*. Sebagai contoh, untuk mendapatkan material silikon tipe-p, silikon didoping oleh atom boron, sedangkan untuk mendapatkan material silikon tipe-n, silikon didoping oleh atom fosfor. Gambar 2.3 menunjukkan *junction* semikonduktor tipe-p dan tipe-n (Septiana, 2012).



Gambar 2.3 *Junction Antara Semikonduktor Tipe-p (Kelebihan Hole) dan Tipe-n (Kelebihan Elektron)* (Septiana, 2012)

Peran dari *p-n junction* ini adalah untuk membentuk medan listrik sehingga elektron dan *hole* bisa diekstrak oleh material kontak untuk menghasilkan listrik. Ketika semikonduktor tipe-p dan tipe-n terhubung, maka kelebihan elektron akan bergerak dari semikonduktor tipe-n ke tipe-p sehingga membentuk kutub positif pada semikonduktor tipe-n, dan sebaliknya kutub negatif pada semikonduktor tipe-p (Septiana, 2012).

Ketika foton dari suatu sumber cahaya menumbuk suatu elektron valensi dari atom semikonduktor, hal ini mengakibatkan energi yang cukup besar memisahkan elektron sehingga terlepas dari struktur atomnya. Elektron yang terlepas akan bebas bergerak di dalam bidang kristal dan elektron tersebut menjadi bermuatan negatif dan berada pada daerah pita konduksi dari material semikonduktor. Sementara itu, akibat hilangnya elektron mengakibatkan terbentuknya suatu kekosongan pada struktur kristal yang disebut dengan *hole* yang bermuatan positif (Handini, 2008).

Daerah semikonduktor dengan elektron bebas dan bersifat negatif bertindak sebagai donor elektron. Daerah ini disebut *negative-type (n-type)*. Sedangkan daerah semikonduktor dengan *hole*, bersifat positif dan bertindak sebagai penerima (*acceptor*) elektron. Daerah ini disebut dengan *positive type (p-type)*. Ikatan dari kedua sisi positif dan negatif (*p-n junction*) menghasilkan energi listrik internal yang akan mendorong elektron bebas dan *hole* untuk bergerak ke arah yang berlawanan. Elektron akan bergerak menjauhi sisi *negative*, sedangkan *hole* akan bergerak menjauhi sisi positif. Ketika *p-n junction* ini dihubungkan dengan sebuah beban (lampu) maka akan tercipta sebuah arus listrik (Handini, 2008).

Sel surya yang banyak digunakan sekarang ini berbahan dasar silikon yang merupakan hasil dari perkembangan pesat teknologi semikonduktor anorganik. Walaupun sel surya sekarang didominasi oleh bahan silikon, namun mahalnya biaya produksi membuat harganya lebih mahal daripada sumber energi fosil. Untuk itu, diperlukan sel surya yang murah dengan kinerja sel tinggi dan sel surya organik (DSSC) menjadi suatu solusi. Sel ini mudah dibuat dari material organik, tidak mahal, ringan, fleksibel, dan beraneka warna (Hardeli, 2011).

2.1.2 Sel Surya Organik

Perkembangan DSSC selama beberapa tahun secara rinci adalah sebagai berikut (Hardeli, 2011):

1. Pada tahun 1991, *Michael Grätzel* dan *Brian O'Regan* telah menemukan "*Dye-sensitized Solar Cells*" yang biasa disebut sel *Grätzel*.

2. Pada tahun 1995, pewarna yang digunakan dalam sel percobaan yang sensitif hanya untuk frekuensi tinggi dari spektrum cahaya (cahaya biru dan UV).
3. Pada tahun 1999, versi yang lebih baru diperkenalkan dengan respon frekuensi tinggi yang efisien, bahkan pada panjang gelombang merah dan infra-merah. Pewarna yang digunakan dalam sel-sel memiliki warna coklat-hitam pekat, disebut sebagai pewarna hitam, dan memiliki efisiensi keseluruhan hampir 90 %. Namun, mudah rusak di bawah intensitas cahaya yang tinggi.
4. Pewarna baru telah diperkenalkan, serta memiliki berbagai sifat khusus, termasuk *1-ethyl-3-methylimidazolium tetrocyanoborate* merupakan suhu yang stabil, dan tembaga-diselenium (Cu (In, Ga) Se_2), yang memberikan peningkatan efisiensi konversi.
5. Para peneliti mencari penggunaan titik-titik kuantum untuk mengubah cahaya energi tinggi menjadi beberapa elektron, dengan menggunakan *solid-state* elektrolit untuk respon suhu yang lebih baik dan memodifikasi doping TiO_2 untuk dicocokkan dengan elektrolit yang digunakan.
6. Nanopartikel TiO_2 berbasis *dye-sensitized solar cell* memberikan efisiensi lebih dari 10 %. Molekul-molekul *dye* terabsorpsi ke permukaan TiO_2 *nanoparticle sinter*. Sinar matahari ditampung oleh *dye*, dan elektron diinjeksikan ke TiO_2 untuk mencapai elektroda.
7. Pada tahun 2004, peneliti dari *University of California* di Santa Barbara menggambarkan kinerja dan desain oksida sel surya *dye-sensitized*

nanowire berbasis seng. *Nanowires* mengaktifkan jalur konduksi elektron antara substrat dan titik *photogeneration* untuk menghasilkan *transport* elektron yang lebih tinggi dibandingkan dengan lapisan nanopartikel sinter. Perangkat memiliki efisiensi kolektor cahaya di bawah 10 %, menunjukkan bahwa efisiensi dan kepadatan diperkuat oleh peningkatan luas permukaan *nanowire*.

Sebagian besar penelitian DSSC difokuskan pada peningkatan absorptansi spektral dengan membuat modifikasi *dye*, meningkatkan lubang transportasi, penggantian cairan elektrolit dengan menggunakan polimer atau padatan ionik, dan meningkatkan transpor elektron menggunakan alternatif struktur *core-shell* atau celah pita lebar bahan semikonduktor (Soutter, 2012).

2.2 Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)

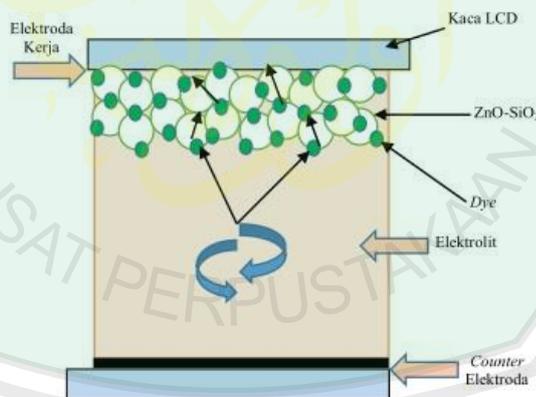
2.2.1 Pengertian Umum

Dye sensitized solar cell pertama kali ditemukan oleh Michael Gratzel dan Brian O'Regan pada tahun 1991 di École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Swiss. *Dye sensitized solar cell* (DSSC) menjadi salah satu topik penelitian yang dilakukan intensif oleh peneliti di seluruh dunia. DSSC merupakan terobosan pertama dalam teknologi sel surya sejak sel surya silikon. Berbeda dengan sel surya konvensional, DSSC adalah sel surya fotoelektrokimia menggunakan elektrolit sebagai medium *transport* muatan (Sukma, 2012).

DSSC Berbeda dengan sel surya konvensional yang semua proses produksinya hanya melibatkan material silikon (Subodro, 2012). Pada DSSC, absorpsi cahaya dan separasi muatan listrik terjadi pada proses yang terpisah,

tidak seperti sel surya silikon yang seluruh prosesnya melibatkan silikon saja dan tidak terpisah. Absorpsi cahaya dilakukan oleh molekul *dye* dan separasi muatan dilakukan oleh inorganik semikonduktor nanokristal yang mempunyai *band gap* lebar. Semikonduktor dengan *band gap* lebar akan memperbanyak elektron yang mengalir dari pita konduksi ke pita valensi, yang membuat ruang reaksi fotokatalis dan absorpsi oleh *dye* akan menjadi lebih banyak, sehingga spektrum menjadi lebih lebar (Nafi dan Susanti, 2013).

DSSC terbagi menjadi beberapa bagian yang terdiri dari nanopori bahan semikonduktor, molekul *dye* yang terabsorpsi di permukaan bahan semikonduktor, dan katalis yang semuanya dideposisi di antara dua kaca konduktif, seperti terlihat pada gambar 2.4 (Septina dkk, 2007).



Gambar 2.4 Struktur *Dye-Sensitized Solar Cell*
(Septina dkk, 2007)

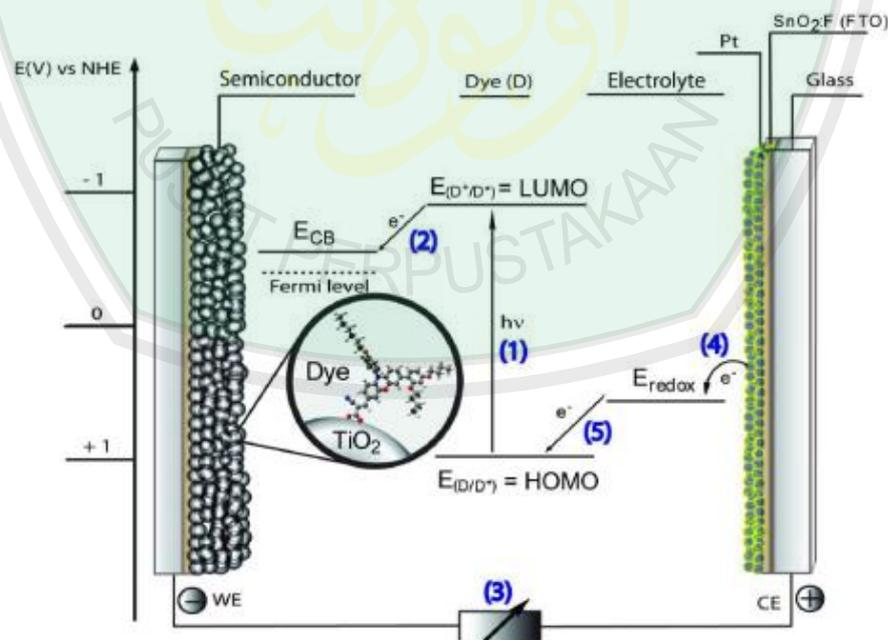
Pada bagian atas dan alas sel surya merupakan *glass* yang sudah dilapisi oleh TCO (*Transparent Conductive Oxide*) dan ZnO, yang berfungsi sebagai elektroda dan *counter* elektroda. Pada TCO *counter-elektrode* dilapisi katalis untuk mempercepat reaksi redoks dengan elektrolit. Pasangan redoks yang

umumnya digunakan yaitu I^-/I_3^- (*iodide/triiodide*). Pada permukaan elektroda dilapisi oleh nanopori bahan semikonduktor yang mana *dye* terabsorpsi di pori bahan semikonduktor. *Dye* yang umumnya digunakan yaitu jenis *ruthenium complex* (Septina dkk, 2007).

2.2.2 Cara Kerja DSSC

Skema kerja DSSC ditunjukkan pada Gambar 2.5. Pada dasarnya prinsip kerja DSSC merupakan reaksi transfer elektron, meliputi (Setiawan dkk, 2015):

1. Proses pertama dimulai dengan terjadinya eksitasi elektron pada molekul *dye* akibat absorpsi foton. Elektron tereksitasi dari *ground state* (D) ke *excited state* (D^*).

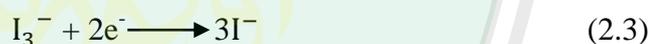


Gambar 2.5 Skema Kerja dari DSSC (Setiawan dkk, 2015)

2. Elektron dari *excited state* kemudian terinjeksi menuju *conduction band* (E_{CB}) titania sehingga molekul *dye* teroksidasi (D^+). Dengan adanya donor elektron oleh elektrolit (I^-), maka molekul *dye* kembali ke keadaan awalnya (*ground state*) dan mencegah penangkapan kembali elektron oleh *dye* yang teroksidasi.



3. Setelah mencapai elektroda WE (*Working electrode*), elektron mengalir menuju elektroda CE (*Counter electrode*) melalui rangkaian eksternal.
4. Adanya katalis pada elektroda CE (*Counter Electrode*), elektron diterima oleh elektrolit sehingga *hole* yang terbentuk pada elektrolit (I_3^-), akibat donor elektron pada proses sebelumnya, berekombinasi dengan elektron membentuk *iodide* (I^-).

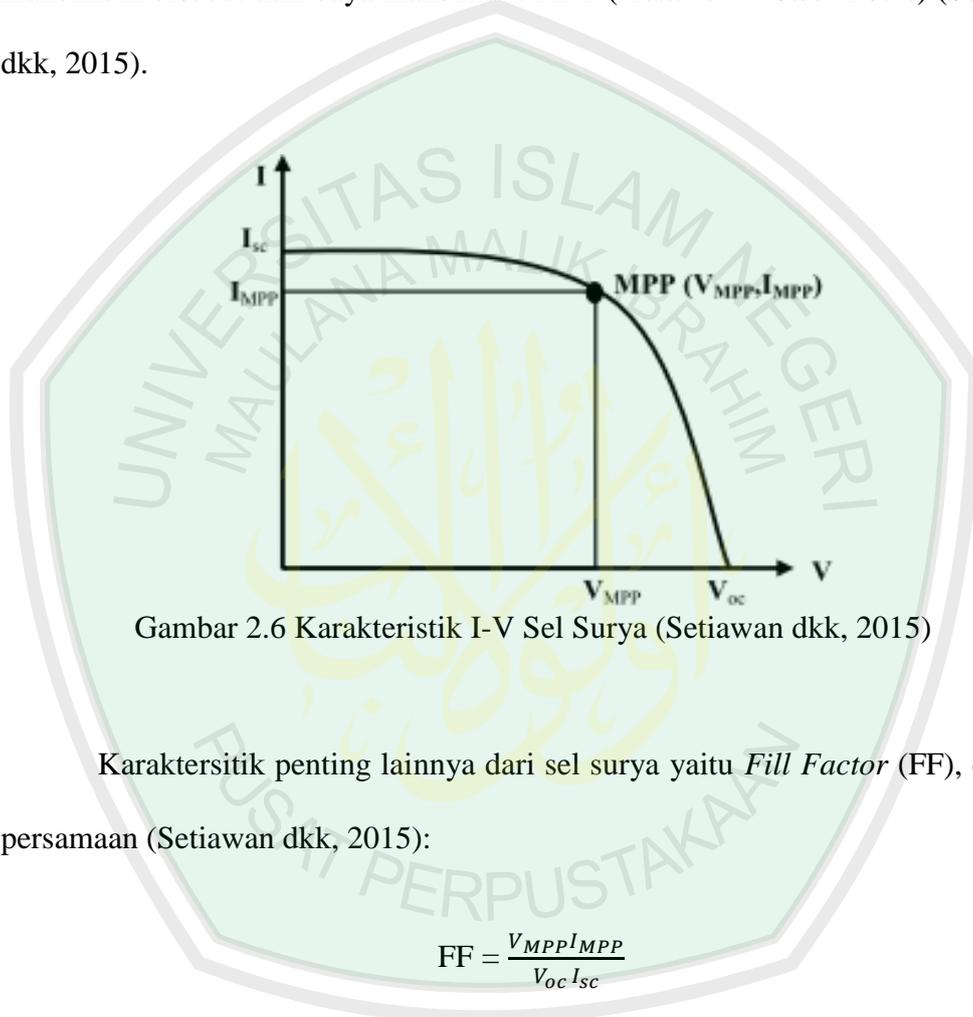


5. *Iodide* ini digunakan untuk donor elektron kepada *dye* yang teroksidasi, sehingga terbentuk suatu siklus *transport* elektron. Dengan siklus ini terjadi konversi langsung dari cahaya matahari menjadi listrik.

2.2.3 Performansi DSSC

Daya listrik yang dihasilkan sel surya organik (DSSC) ketika mendapat cahaya diperoleh dari kemampuan perangkat sel surya tersebut untuk memproduksi tegangan ketika diberi beban dan arus melalui beban pada waktu yang sama. Kemampuan ini direpresentasikan dalam kurva arus-tegangan (I-V) Gambar 2.20. Ketika sel dalam kondisi *short circuit*, arus maksimum atau arus

short circuit (I_{sc}) dihasilkan, sedangkan pada kondisi *open circuit* tidak ada arus yang dapat mengalir sehingga tegangannya maksimum, disebut tegangan *open-circuit* (V_{oc}). Titik pada kurva I-V yang menghasilkan arus dan tegangan maksimum disebut titik daya maksimum MPP (*Maximum Power Point*) (Setiawan dkk, 2015).



Gambar 2.6 Karakteristik I-V Sel Surya (Setiawan dkk, 2015)

Karakteristik penting lainnya dari sel surya yaitu *Fill Factor* (FF), dengan persamaan (Setiawan dkk, 2015):

$$FF = \frac{V_{MPP} I_{MPP}}{V_{oc} I_{sc}} \quad (2.4)$$

Dengan menggunakan *Fill Factor* maka maksimum daya dari sel surya didapat dari persamaan:

$$P_{max} = V_{oc} I_{sc} FF \quad (2.5)$$

Sehingga efisiensi sel surya yang didefinisikan sebagai daya yang dihasilkan dari sel (P_{max}) dibagi dengan daya dari cahaya yang datang (P_{cahaya}) persamaan:

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{cahaya}} \quad (2.6)$$

Nilai efisiensi ini yang menjadi ukuran global dalam menentukan kualitas performansi suatu sel surya (Setiawan dkk, 2015).

2.2.4 Material DSSC

1. Substrat (Kaca TCO)

Substrat yang digunakan pada DSSC yaitu jenis TCO (*Transparent Conductive Oxide*) merupakan kaca transparan konduktif. Material substrat tersebut berfungsi sebagai badan sel surya dan lapisan konduktifnya berfungsi sebagai tempat muatan mengalir (Septina dkk, 2007).

TCO merupakan material dengan karakteristik transparansi yang tinggi pada panjang gelombang *visible* dan resistivitas listrik yang rendah sehingga dapat dimanfaatkan sebagai, teknologi *window layer* dalam sel surya. Bahan TCO yang saat ini populer dimanfaatkan adalah *Indium thin oxide* (ITO). ITO memiliki karakteristik yang baik dari segi transmitansi optik, *band gap* yang lebar, serta konduktivitas listrik yang tinggi. Lapisan tipis ITO memiliki konduktivitas $\sim 10^4$ ohm⁻¹ cm⁻¹ dan transmitansi ~ 85 %, dengan *band gap* $\sim 3,7$ eV (Fatiatun, 2015).

Material TCO disebut transparan karena sangat tipis, atau kurang lebih setebal 150 nanometer, lapisan ini bersifat tembus pandang terhadap cahaya tampak. Sedangkan TCO juga disebut konduktif karena material ini bersifat seperti layaknya semikonduktor yang dapat menghantarkan listrik dalam besaran taraf tertentu. Melalui teknologi pelapisan *film* tipis yang berskala nanometer, dengan jalan menguapkan (evaporasi), serta memindahkan partikel-partikel atom

dari material oksida pada permukaan sebuah substrat kaca, maka akan diperoleh suatu lapisan material TCO dengan ketebalan bervariasi antara 100 hingga 200 nanometer (Umam, 2012). *Transparent conductive oxide* (TCO) diaplikasikan pada aspek komputasi *liquid crystal displays* (LCD), aspek alternatif energi seperti sel surya, dan aspek teknologi berupa sensor gas (Widiyastuti dkk, 2011).

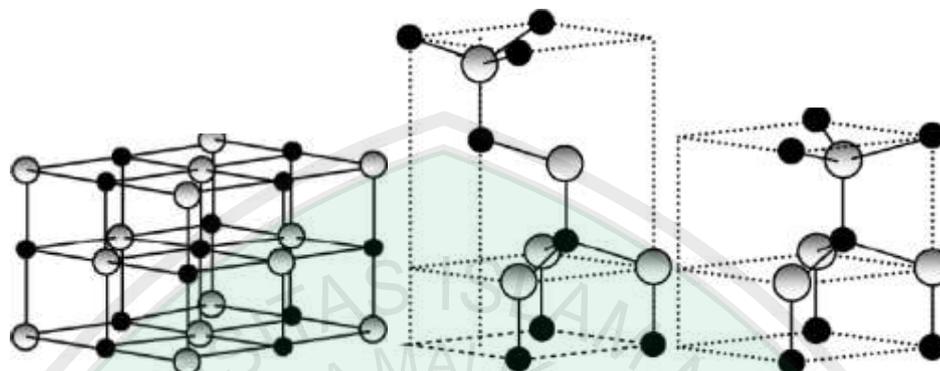
2. Bahan Semikonduktor ZnO dan SiO₂

ZnO (*Zinc Oxide*) adalah bahan semikonduktor yang memiliki *band gap* cukup lebar yaitu 3,37 eV sehingga sesuai untuk diaplikasikan sebagai sel surya. (Prasatya dan Susanti, 2013). ZnO juga merupakan material semikonduktor yang menjanjikan untuk berbagai aplikasi dalam teknologi modern. Material ini dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi pembuatan perangkat semikonduktor seperti, perangkat *filter* SAW, sensor gas, dan TCO. ZnO termasuk bahan paduan golongan II dan VI antara logam dan oksida. ZnO diakui sebagai salah satu material semikonduktor oksida yang paling menjanjikan karena mempunyai sifat optis, listrik, dan piezoelektrik yang baik (Fatiatun, 2015). Secara umum, ZnO dapat dibuat dengan mereaksikan logam Zn dan oksigen pada suhu tinggi. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut (Syamsuluri dkk, 2014):



ZnO umumnya berbentuk bubuk putih yang dikenal sebagai seng putih atau sebagai *zincite* mineral. Mineral biasanya berisi sejumlah unsur mangan dan lainnya (Syamsuluri dkk, 2014). Material ini juga termasuk dalam semikonduktor tipe-n, yang memiliki tiga macam struktur kristal yaitu *wurtzite*, *zinc blende*, dan

rocksalt. Ketiga bentuk struktur kristal ZnO tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.7 (Fatiatun, 2015).



Gambar 2.7 Struktur Kristal ZnO(a) *rocksalt*, (b) *zinc blende*, dan (c) *wurtzite* (Fatiatun, 2015)

Pada kondisi ruang, fasa yang stabil secara termodinamika adalah fasa *wurtzite*. Kristal ZnO dengan struktur *zinc blende* dapat menjadi stabil hanya dengan penumbuhan pada substrat-substrat struktur kubik (Widiyana, 2011).

Tabel 2.1 Sifat Fisis Dasar ZnO dalam Ukuran Besar (*bulk*) (Widiyana, 2011)

Sifat (properties)	Nilai
Konstanta kisi pada T=300 °C	$a_0 = 0,3249 \text{ nm}$; $c_0 = 0,5209$
Kerapatan	$5,606 \text{ g/cm}^3$
Titik leleh	2248 K
Konstanta dielektrik relatif	8,66
Energi gap	3,4 eV, langsung
Konsentrasi pembawa muatan intrinsik	$< 10^6 \text{ cm}^{-3}$
Energi ikat eksiton	60 meV
Massa efektif elektron	0,24
Mobilitas elektron	$200 \text{ cm}^2/\text{Vs}$
Massa efektif lubang	0,59
Mobilitas lubang	$5-50 \text{ cm}^2/\text{Vs}$
Titik leleh logam Zn	419,5 °C

Material ZnO biasanya diaplikasikan sebagai sensor karena ZnO akan mengalami peningkatan konduktivitas permukaan bila mengabsorpsi, sebagai *Transparent Conductive Oxide* (TCO), elektroda transparan dalam teknologi fotovoltaiik, piranti elektroluminisens, fotokatalis, sel surya, nano laser, dan material untuk piranti pemancar ultraviolet (Widiyana, 2011).

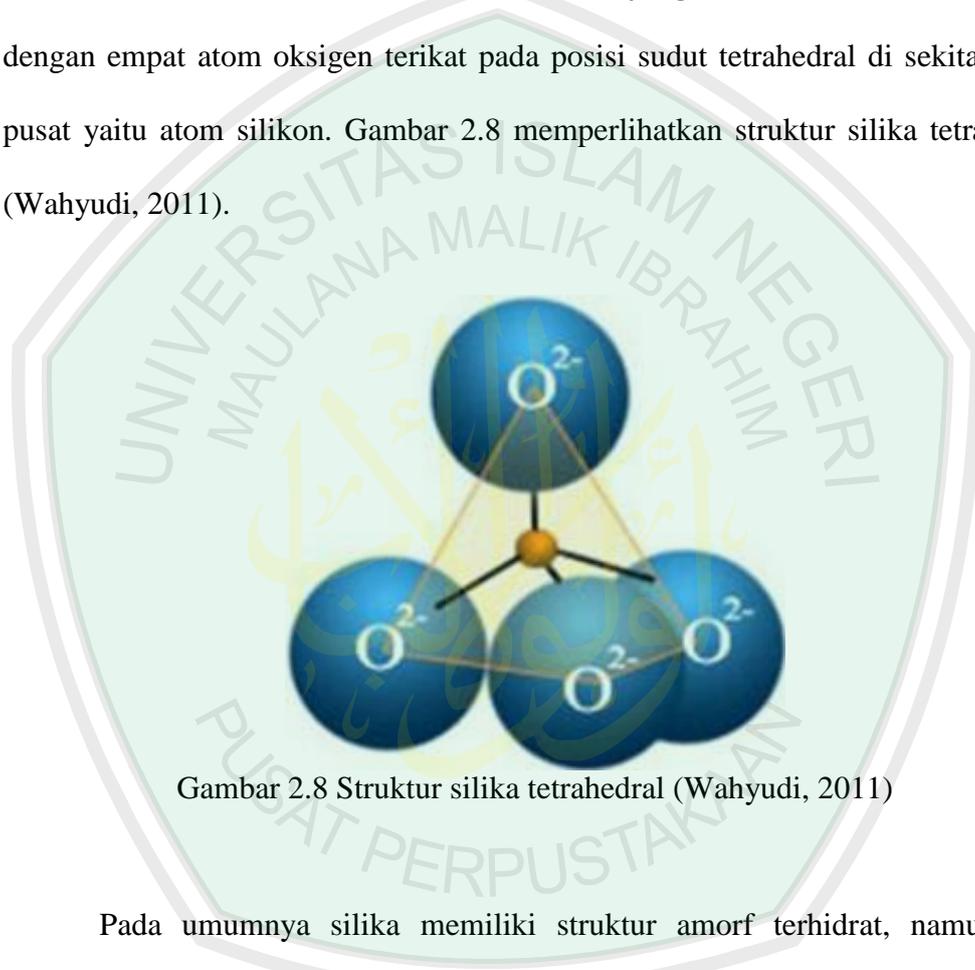
Silika adalah senyawa hasil polimerisasi asam silikat, yang tersusun dari rantai satuan SiO_4 tetrahedral dengan formula umum SiO_2 (Sulastri dan Kristianingrum, 2010). Silika atau dikenal dengan silikon dioksida (SiO_2) merupakan senyawa yang banyak ditemui dalam bahan galian yang disebut pasir kuarsa, terdiri atas kristal-kristal silika (SiO_2) dan mengandung senyawa pengotor yang terbawa selama proses pengendapan. Pasir kuarsa juga dikenal dengan nama pasir putih, yaitu hasil pelapukan batuan yang mengandung mineral utama seperti kuarsa dan felspar. Pasir kuarsa mempunyai komposisi gabungan dari SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , TiO_2 , CaO , MgO , dan K_2O , berwarna putih bening atau warna lain bergantung pada senyawa pengotornya. Selain terbentuk secara alami, silika dengan struktur kristal tridimit dapat diperoleh dengan cara memanaskan pasir kuarsa pada suhu $870\text{ }^\circ\text{C}$ dan bila pemanasan dilakukan pada suhu $1470\text{ }^\circ\text{C}$ dapat diperoleh silika dengan struktur kristobalit (Wahyudi, 2011).

Tabel 2.2 Karakteristik Silika Amorf (Wahyudi, 2011)

Nama lain	Silikon dioksida
Rumus molekul	SiO_2
Berat jenis (g/cm^3)	2,6
Bentuk	Padat
Daya larut dalam air	Tidak larut
Titik cair ($^\circ\text{C}$)	1610
Titik didih ($^\circ\text{C}$)	2230

Kekerasan (Kg/mm ²)	650
Kekuatan tekuk (MPa)	70
Kekuatan tarik (MPa)	110
Modulus elastisitas (GPa)	73 – 75
Resistivitas (Ω m)	$> 10^{14}$
Struktur kristal	Kristobalit, tridmit, kuarsa

Silika terbentuk melalui ikatan kovalen yang kuat serta memiliki struktur dengan empat atom oksigen terikat pada posisi sudut tetrahedral di sekitar atom pusat yaitu atom silikon. Gambar 2.8 memperlihatkan struktur silika tetrahedral (Wahyudi, 2011).



Gambar 2.8 Struktur silika tetrahedral (Wahyudi, 2011)

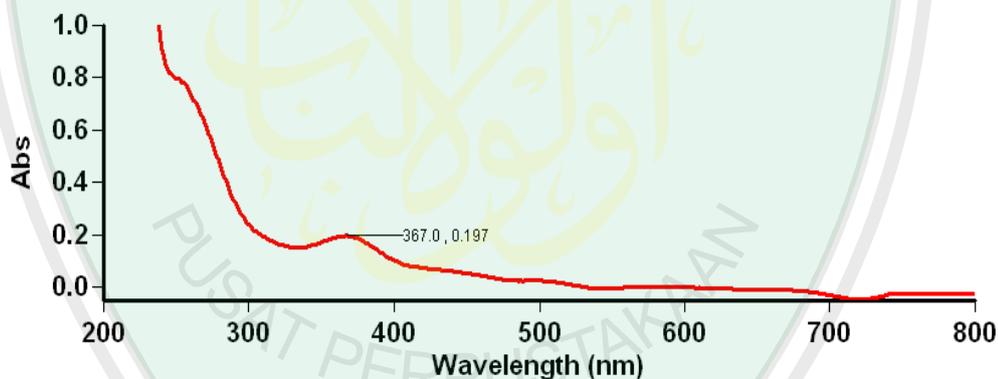
Pada umumnya silika memiliki struktur amorf terhidrat, namun bila pembakaran berlangsung terus-menerus pada suhu di atas 650 °C maka tingkat kristalinitasnya akan cenderung naik dengan terbentuknya fasa *quartz*, *crystobalite*, dan *tridymite* (Wahyudi, 2011).

Tabel 2.3 Bentuk Kristal Utama Silika (Wahyudi, 2011)

Bentuk Kristobalit	Rentang Stabilitas (°C)	Modifikasi
	1470 – 1723	β – (kubik)
		α – (tetragonal)

Tridmit	870 – 1470	γ – ? β – (heksagonal) α – (ortorombik)
Kuarsa	<870	β – (heksagonal) α – (trigonal)

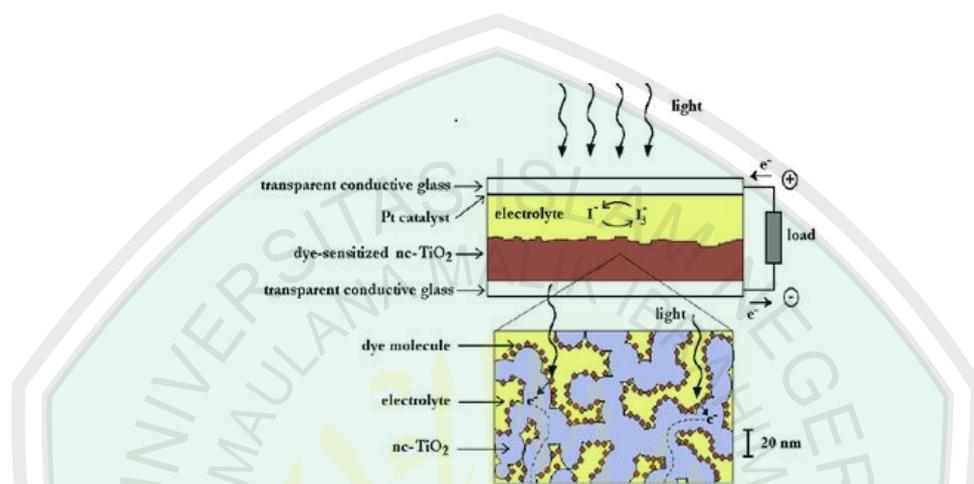
Rasyidi (2015) menyebutkan bahwa nilai absorbansi bahan komposit ZnO–SiO₂ (3:7) mengalami peningkatan dengan bertambahnya suhu kalsinasi. Absorbansi tertinggi terjadi pada suhu 673 °C sebesar 0,214. Sedangkan, energi *gap* tertinggi yaitu pada suhu 600 °C sebesar 3,2 eV dengan spektrum absorpsi 0,197 di daerah UV. Spektrum absorpsi ZnO–SiO₂ pada suhu kalsinasi 600 °C ditunjukkan oleh gambar 2.9.



Gambar 2.9 Spektrum Absorpsi ZnO-SiO₂ (Rasyidi, 2015)

3. Dye Sensitizer

Dye sensitizer yang terabsorpsi pada permukaan bahan semikonduktor merupakan zat pewarna yang berfungsi sebagai penyerap cahaya matahari untuk menghasilkan elektron. *Dye* yang banyak digunakan dan mencapai efisiensi tertinggi yaitu jenis *ruthenium kompleks* (Abat dkk, 2013).



Gambar 2.10 Perbesaran Absorpsi *Dye* Pada Substrat dan Oksida Semikonduktor (Karasovec, 2009)

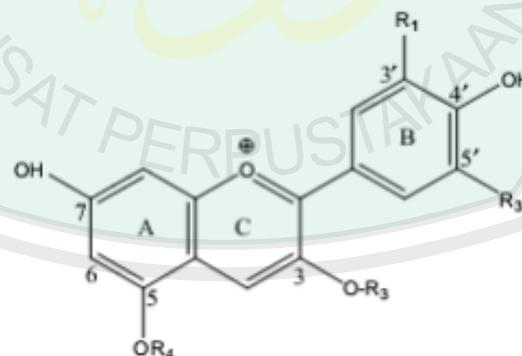
DSSC dengan *ruthenium complex* telah mencapai efisiensi yang cukup tinggi, namun *dye* jenis ini cukup sulit untuk disintesa dan *ruthenium complex* komersil berharga mahal. Alternatif lain yaitu penggunaan *dye* dari buah-buahan, khususnya *dye* yang memiliki kandungan pigmen dan *antocyanin* yang tinggi, seperti buah mangsi dan daun jati (Karasovec, 2009).

Buah mangsi merupakan tanaman semak-semak yang tumbuh tegak atau merambat dengan tinggi 1,5 sampai 5 meter. Buah mangsi (*Phyllanthus reticulatus*) adalah salah satu pewarna alami karena mengandung pigmen antosianin. Buah mangsi ditunjukkan pada gambar 2.11 (Nugroho, 2012).



Gambar 2.11 Buah Mangsi (Nugroho, 2012)

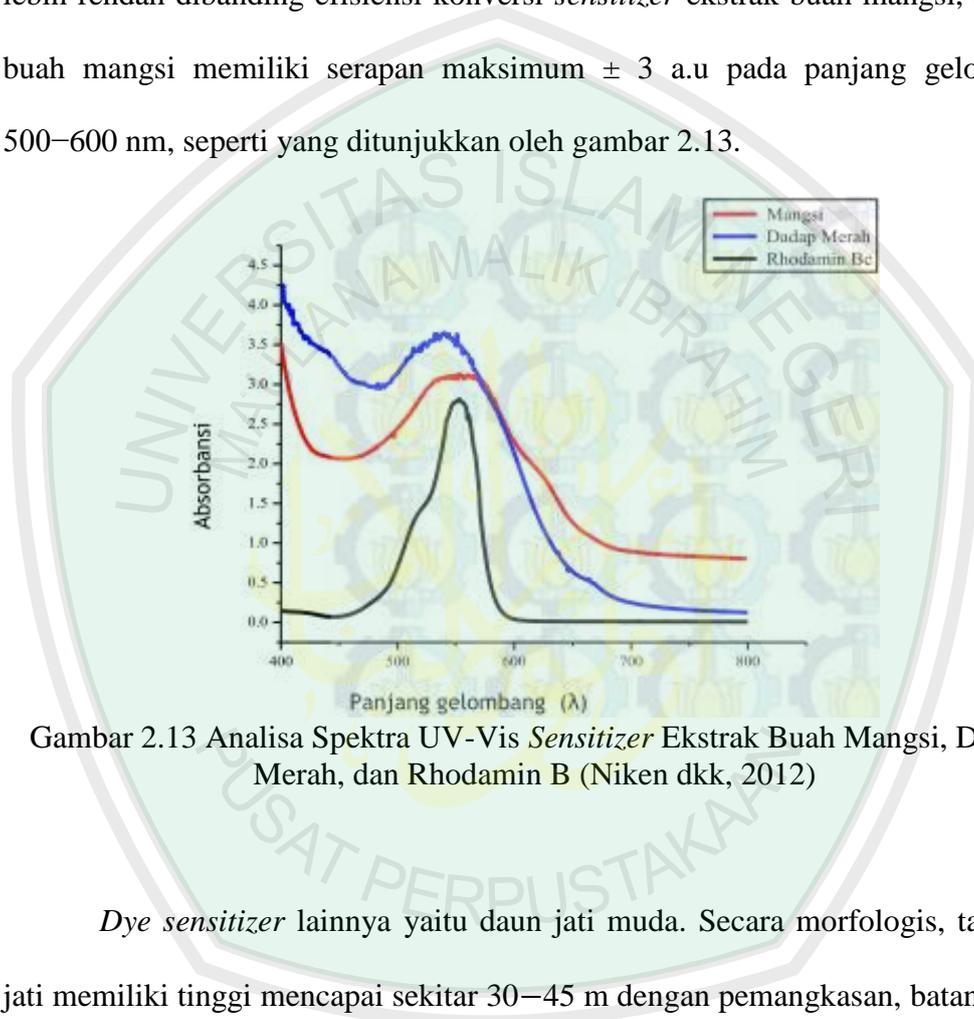
Antosianin merupakan metabolit sekunder dari famili flavonoid yang memiliki pigmen sesuai dengan pH tumbuhan, dalam jumlah besar ditemukan dalam buah-buahan dan sayur-sayuran (Talavera, et al, 2004). Seluruh senyawa antosianin merupakan senyawa turunan dari kation flavilium dan dua puluh jenis senyawa telah ditemukan. Tetapi hanya enam yang memegang peranan penting dalam bahan pangan yaitu pelargonidin, sianidin, delphinidin, peonidin, petunidin, dan malvidin (Nugrahan, 2007). Pada umumnya, seluruh antosianin memiliki struktur dasar kation flavilium (AH⁺) (Fennema, 1996).



Gambar 2.12 Struktur Kation Flavilium R1 dan R2= -H, OH, atau OCH₃,
R₃ = -glikosil, R₄= -H atau -glikosil (Fennema, 1996)

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Sari dkk (2012), bunga dadap merah memiliki intensitas serapan yang paling tinggi dibandingkan dengan

rhodamin B dan buah mangsi, namun rentang panjang gelombang serapan senyawa ini lebih sempit dibanding dengan rentang serapan buah mangsi. Hal ini mengakibatkan nilai efisiensi konversi pewarna *sensitizer* ekstrak dadap merah lebih rendah dibanding efisiensi konversi *sensitizer* ekstrak buah mangsi, ekstrak buah mangsi memiliki serapan maksimum ± 3 a.u pada panjang gelombang 500–600 nm, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.13.



Gambar 2.13 Analisa Spektra UV-Vis *Sensitizer* Ekstrak Buah Mangsi, Dadap Merah, dan Rhodamin B (Niken dkk, 2012)

Dye sensitizer lainnya yaitu daun jati muda. Secara morfologis, tanaman jati memiliki tinggi mencapai sekitar 30–45 m dengan pemangkasan, batang yang bebas cabang dapat mencapai antara 15–20 cm. Diameter batang dapat mencapai 220 cm. Daun muda (petiola) berwarna hijau kecoklatan, sedangkan daun tua berwarna hijau tua keabu-abuan (Sumarna, 2004). Sistematika tanaman jati yaitu (Mutiarawati dkk, 2013):

Kingdom : *Plantae*

Divisi : *Spermatophyta*

Class : *Dicotylodonae*

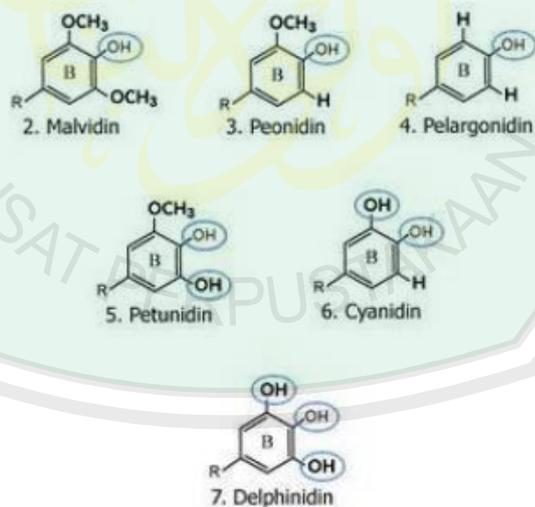
Ordo : *Solanales*

Famili : *Verbenaceae*

Genus : *Tectona*

Spesies : *Tectona grandis L.f.*

Daun jati muda memiliki kandungan pigmen alami yang terdiri dari pheophiptin, β -karoten, pelargonidin 3-glukosida, pelargonidin 3,7-diglukosida, klorofil dan dua pigmen lain yang belum diidentifikasi. Pelargonidin merupakan golongan pigmen antosianidin, yaitu aglikon antosianin yang terbentuk bila antosianin dihidrolisis oleh asam. Gambar 2.7 menunjukkan kandungan antosianin pada daun jati (Pratama, 2013).



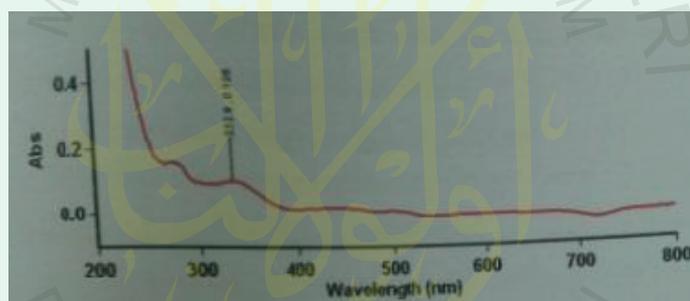
Gambar 2.14 Beberapa Jenis Struktur Antosianin (Nugrahan, 2007)

Kandungan kimia daun jati yaitu (Ati, dkk, 2006):

1. Kulit: asam, damar, zat samak
2. Tanaman/daun: zat pahit, glukose dan lemak

3. Efek farmakologis: anti diare, astringen, dan menguruskan badan dengan cara melarutkan lemak.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Sunardi dan Kartika (2012), rangkaian DSSC dengan ekstrak daun jati memiliki efisiensi lebih besar jika dibandingkan dengan dadap merah dan rhodamin B. Sedangkan Yulianti (2015) menyatakan bahwa ekstrak daun jati memiliki absorbansi lebih besar daripada ekstrak temu ireng, yaitu sebesar 0,106 a.u pada panjang gelombang 332,9 nm di daerah UV. Nilai absorbansi maksimum ekstrak daun jati dari berbagai panjang gelombang serapan ditunjukkan pada gambar 2.15.



Gambar 2.15 Analisa Spektra UV-Vis *Sensitizer* Ekstrak Daun Jati (Yulianti, 2015)

4. Elektrolit

Elektrolit berfungsi untuk meregenerasi *dye*. Elektrolit yang digunakan pada DSSC terdiri dari *iodine* (I) dan *triiodide* (I_3^-) sebagai pasangan redoks dalam pelarut (Abat, 2013). bahan lain yang digunakan dalam pembuatan elektrolit, yaitu *Polyethylen Glycol* (PEG) dan kloroform. PEG dapat menembus ke dalam serapan *dye* ZnO baik untuk perbandingan ukuran partikel yang kecil maupun pada diameter pori skala nano dan dapat menjaga kestabilan kerja. PEG

termasuk dalam golongan alkohol dengan dua buah gugus -OH yang berulang dan termasuk bahan dapat larut dalam air. PEG bisa berbentuk padatan maupun cairan kental (gel), tergantung pada komposisi dan berat molekulnya (Nugrahawati, 2012). Karakteristik ideal dari pasangan redoks untuk elektrolit DSSC yaitu (Abat dkk, 2013):

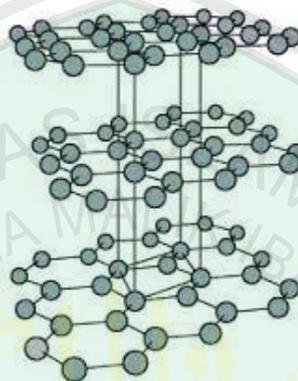
1. Potensial redoksnya secara termodinamika berlangsung sesuai dengan potensial redoks dari *dye* untuk tegangan sel yang maksimal.
2. Tingginya kelarutan terhadap pelarut untuk mendukung konsentrasi yang tinggi dari muatan pada elektrolit.
3. Pelarut mempunyai koefisien difusi yang tinggi untuk transportasi massa yang efisien.

Tidak adanya karakteristik spektral pada daerah cahaya tampak untuk menghindari absorpsi cahaya datang pada elektrolit. Kestabilan yang tinggi baik dalam bentuk tereduksi maupun teroksidasi.

5. Elektroda Karbon

Pada DSSC, karbon berfungsi sebagai katalis. Katalis dibutuhkan untuk mempercepat kinetika reaksi reduksi *triiodide* pada TCO. Platina, material yang umum digunakan sebagai katalis pada berbagai aplikasi, juga sangat efisien dalam aplikasi DSSC. Sebagai alternatif, Kay & Gratzel mengembangkan desain DSSC dengan menggunakan *counter* elektroda karbon sebagai lapisan katalis. Karena luas permukaannya yang tinggi, *counter* elektroda karbon mempunyai keaktifan reduksi *triiodide* yang menyerupai elektroda platina (Sukma, 2012). Karbon (C) merupakan unsur golongan IV A dengan nomor atom 6, memiliki konfigurasi $1s^1$

$2s^2 sp^2$. Titik lelehnya mencapai $350\text{ }^\circ\text{C}$ dengan massa atom relatif 12,011 gram/mol. Daya hantar listrik karbon grafit lebih besar daripada hantaran listrik intan, sehingga grafit dapat berperan sebagai konduktor (Wijaya, 2008).



Gambar 2.16 Struktur Karbon (Wijaya, 2008)

2.3 Deposisi Lapisan Elektroda Kerja

Beberapa teknik yang dapat digunakan dan disesuaikan dengan larutan TiO_2 yang dibuat agar menghasilkan lapisan yang seragam. Beberapa teknik tersebut sebagai berikut (Martineau, 2011):

2.3.1 *Doctor-blade*

Teknik ini adalah teknik yang sering digunakan. Pertama kali yang harus dilakukan adalah membentuk bingkai area TiO_2 yang akan dideposisikan pada substrat dengan menggunakan *scotch tape* yang berguna mengontrol ketebalan dari TiO_2 . Kemudian dengan menggunakan *rod glass* untuk meratakan TiO_2 pada substrat, dimulai dari ujung bingkai. Namun, sedikit sulit untuk mengontrol keseragaman ketebalan lapisan TiO_2 , karena ketebalan dari lapisan TiO_2

bergantung pada banyaknya larutan TiO_2 yang dideposisikan pada substrat dan gerakan *rod glass*.

2.3.2 Electrospinning

Teknik ini berusaha untuk mendeposisikan TiO_2 pada permukaan yang lebih lebar menggunakan alat yang disebut *electrospinning*. *Electrospinning* terdiri dari jarum suntik yang mengandung bahan yang akan disimpan dan *mounting plate* yang menjadi target yang akan dilapisi. Target dan jarum suntik yang terhubung ke sumber tegangan yang akan menciptakan *electropotential*. Perbedaan antara alat suntik dan *mounting plate* di kisaran 1000 volt. Ketika cairan di dalam jarum suntik secara perlahan dipompa keluar, larutan akan mendorong dengan kecepatan tinggi menuju target karena adanya medan listrik (Martineau, 2011).

Metode ini meliputi sebuah larutan polimer (larutan TiO_2) diletakkan di dalam tabung suntik (A) yang kemudian diumpankan menuju jarum logam (B). Sebuah *power supply* dengan tegangan tinggi (C) terhubung ke jarum, dan dari jarum akan mengeluarkan semprotan larutan polimer (D). Larutan akan mengering dalam perjalanan, sehingga akan terbentuk lapisan halus pada substrat (E) (Martineau, 2011).

2.3.3 Screen Printing

Setelah bekerja dengan teknik sebelumnya masalah yang paling penting yang harus dipecahkan adalah keseragaman ketebalan *coating*. Catatan beberapa

perusahaan komersial telah mengembangkan fabrikasi skala industri untuk sel surya organik, teknik produksi yang digunakan untuk memproduksi sel-sel ini dengan mengekstrusi lapisan TiO_2 melalui *mesh* (saringan) dengan ukuran diameter pori yang sangat kecil, kemudian TiO_2 dipaksa melalui *mesh* (saringan) dengan alat penekan *squeegee*. Teknik ini tidak hanya digunakan dengan pembuatan sel surya organik tetapi juga telah diuji dengan jenis *photovoltaic* lain sebagaimana dilakukan oleh perusahaan Matsushita Jepang dengan film tipis sel surya CdTe. Beberapa manfaat dari teknik ini adalah kesederhanaan prosedur, kemampuan untuk deposit lapisan TiO_2 pada substrat secara bersamaan (Mawyin, 2009).

2.3.4 Cold spraying

Teknik terakhir yang menghasilkan hasil yang paling konsisten adalah variasi dari proses deposisi yang telah digunakan sebelumnya. Teknik ini terdiri dari lukisan permukaan substrat konduktif dengan menggunakan sikat udara. Perangkat *cold spraying* terdiri dari pistol penyemprotan dengan *nozzle* yang berfungsi untuk menembakkan TiO_2 pada substrat, yang didorong dengan udara terkompresi sehingga jumlah udara yang datang dari *nozzle* dapat dikontrol sehingga laju aliran dapat stabil (Mawyin, 2009).

Sebuah faktor penting untuk dipertimbangkan adalah rasio dari pelarut (misalnya 2-propanol) dengan TiO_2 . Pelarut yang terdapat dalam larutan akan menguap dalam perjalanan menuju target. Oleh karena itu, jumlah pelarut dalam larutan TiO_2 harus lebih banyak dibandingkan dengan teknik *Doctor-blade*, dengan tujuan untuk menghindari gumpalan partikel (Mawyin, 2009).

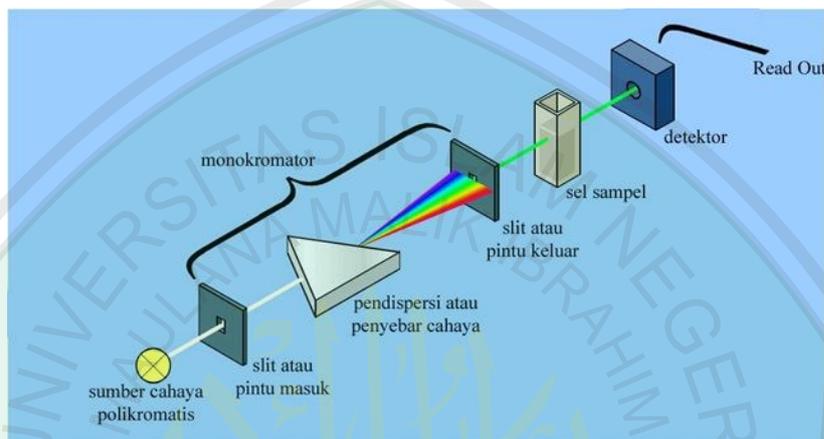
2.4 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer UV-Vis merupakan suatu metode identifikasi yang di dasarkan pada struktur elektronik molekul, yang dikenal sebagai spektroskopi elektronik. Spektrum yang diabsorpsi oleh suatu senyawa adalah sejumlah sinar yang diabsorpsi oleh satu senyawa pada panjang gelombang tertentu. Untuk senyawa berwarna akan memiliki satu atau lebih absorpsi spektrum yang tertinggi di daerah spektrum tampak (400-700 nm). Spektrum yang terabsorpsi pada ultra violet (200-400 nm) dan daerah tampak terjadi karena adanya perubahan energi elektron terluar dari molekul yang disebabkan adanya ikatan atau bukan ikatan (Bari, 2012).

Pada umumnya, elektron yang berpindah tempat ini disebabkan adanya ikatan rangkap karbon-karbon atau pasangan nitrogen dengan oksigen. Biasanya cahaya tampak merupakan campuran dari cahaya yang mempunyai berbagai panjang gelombang, dari 400-700 nm. Transisi yang penting pada daerah ultraviolet dan tampak yaitu transisi $n \rightarrow \pi^*$ dan $\pi \rightarrow \pi^*$, sedangkan transisi $n \rightarrow \sigma^*$ jarang terjadi (Bari, 2012).

Serapan cahaya oleh molekul dalam daerah spektrum UV dan tampak tergantung pada struktur elektronik dari molekul. Energi yang diabsorpsi dalam suatu molekul dapat menyebabkan transisi tingkat emisi atom atau molekul dari tingkat yang rendah (dasar) ke tingkat energi yang lebih tinggi (terekstisasi). Molekul yang memerlukan lebih banyak energi untuk promosi akan mengabsorpsi pada panjang gelombang yang lebih pendek yaitu pada daerah violet. Untuk molekul yang memerlukan energi yang lebih sedikit akan menyerap pada panjang

gelombang yang lebih panjang, yaitu pada daerah tampak (*visible*) (Deskawi, 2012). Secara sederhana Instrumen spektrofotometri yang disebut spektrofotometer terdiri dari: sumber cahaya – monokromator – sel sampel –detektor – *read out* (pembaca) (Sukma, 2012).



Gambar 2.17 Skema Kerja Spektrofotometer UV-Vis (Sukma, 2012)

Tabel 2.4 Daftar panjang gelombang sinar tampak dan warna – warna (Underwood dan Day, 1989)

Panjang gelombang (nm)	Warna warna yang diserap	Warna komplementer (warna yang terlihat)
400 – 435	Ungu	Hijau kekuningan
435 – 480	Biru	Kuning
480 – 490	Biru kehijauan	Jingga
490 – 500	Hijau kebiruan	Merah
500 – 560	Hijau	Ungu kemerahan
560 – 580	Hijau kekuningan	Ungu
580 – 595	Kuning	Biru
595 – 610	Jingga	Biru kehijauan
610 – 800	Merah	Hijau kebiruan

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini bersifat eksperimental yaitu untuk mengetahui sifat optis dan sifat listrik bahan semikonduktor ZnO-SiO₂, dengan variasi *dye sensitizer* dan lama perendaman lapisan semikonduktor ZnO-SiO₂ yang dideposisikan pada substrat. Sifat listrik yang akan dianalisa meliputi kuat arus, hambatan, tegangan, intensitas, dan efisiensi terhadap lampu halogen dan matahari. Sedangkan sifat optis meliputi spektrum absorpsi.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Januari 2016 hingga selesai di Laboratorium Riset Material Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang dan Laboratorium Fisika Zat Padat FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Neraca Digital
2. *Hotplate*
3. *Magnetic Stirrer*
4. *Beaker Glass*
5. Gelas ukur

6. Blender
7. Kertas saring
8. *Microwave*
9. Kertas timbang
10. Spatula
11. Mortar dan alu
12. Pipet tetes
13. Cawan Petri
14. UV-Vis
15. Multimeter Digital
16. Lampu halogen
17. *Scotch tape*
18. Pemotong kaca
19. Penjepit kertas
20. Gunting
21. Ayakan
22. *Ultrasonic Cleaner*

3.3.2 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Serbuk semikonduktor ZnO-SiO₂
2. Polivinil Alkohol (PVA)
3. Akuades
4. Karbon

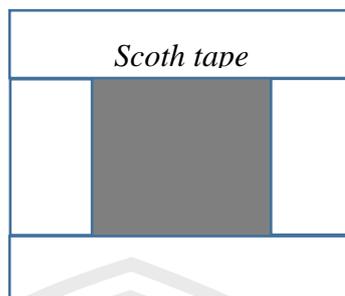
5. Iodin
6. Kalium Iodida
7. Kaca konduktif (LCD)
8. Alkohol 96 %
9. PEG 1000
10. Buah mangsi
11. Daun jati

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian DSSC meliputi proses fabrikasi dan karakterisasi rangkaian DSSC. Fabrikasi DSSC dilakukan dengan dua variasi, yaitu variasi *dye sensitizer* dan variasi lama perendaman lapisan ZnO-SiO₂. Prosedur-prosedur penelitian ini antara lain:

1. Pembersihan Kaca LCD (Zamrani, 2013)
 - a. Kaca LCD dipotong dengan ukuran 2 × 2 cm.
 - b. Kaca LCD yang telah dipotong dimasukkan ke dalam *beaker glass* yang berisi akuades dan sabun pencuci piring kemudian disterilkan menggunakan *ultrasonic cleaner* selama 60 menit.
 - c. *Scotch tape* direkatkan pada sisi kaca LCD seperti pada gambar 3.1 sehingga diperoleh area pendeposisian dengan ukuran 1,5 × 1,5 cm.



Gambar 3.1 Pelapisan *Scotch Tape* Pada Substrat TCO

2. Pembuatan Pasta ZnO-SiO₂ (Fitriya, 2015)
 - a. PVA sebanyak 0,5 gram dilarutkan dalam 10 mL akuades menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 300 rpm pada suhu 80 °C sampai membentuk gel.
 - b. Serbuk ZnO-SiO₂ sebanyak 0,5 gram dicampur dengan PVA dan digerus hingga membentuk pasta.
3. Pelapisan ZnO-SiO₂ pada Substrat (Fitriya, 2015)
 - a. Pasta ZnO-SiO₂ dilapiskan pada substrat LCD menggunakan metode *doctor blade*.
 - b. Lapisan ZnO-SiO₂ dikeringkan di udara terbuka selama 15 menit, kemudian dipanaskan di dalam *oven* pada temperatur 100 °C selama 20 menit.
4. Pembuatan *Counter* Elektroda (Septiana dkk. 2007)
 - a. *Scotch tape* direkatkan pada sisi kaca substrat LCD dengan ukuran 1,5 × 1,5 cm.

- b. Masing-masing sisi konduktif kaca dilapisi karbon menggunakan pensil 2B.
- c. Lapisan karbon dipanaskan pada temperatur 100 °C selama 20 menit.

5. Pembuatan Elektrolit Gel (Bari, 2012)

- a. Larutan elektrolit *iodide/triiodide* dibuat dari kalium iodida (KI) sebanyak 3 gram dilarutkan ke dalam 3 mL *iodine* dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit, sehingga membentuk larutan dengan konsentrasi 0,5 M.
- b. 2,5 gram PEG dilarutkan ke dalam akuades 5 mL *chloroform* dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit sehingga membentuk konsentrasi 0,05 M.
- c. Kedua larutan dicampur dan diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 30 menit pada suhu 60 °C hingga homogen, kemudian dimasukkan ke dalam botol tertutup.

6. Ekstraksi Dye (Bari, 2012)

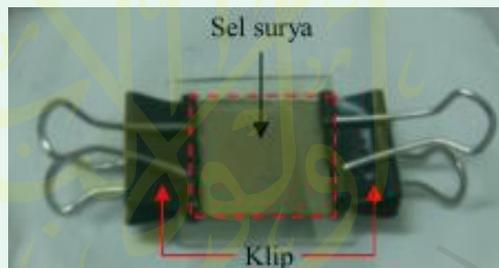
- a. Daun jati dan buah mangsi dicuci hingga bersih. Buah mangsi ditimbang sebanyak 20 gram dan dicampurkan dengan 30 mL akuades, sehingga diperoleh perbandingan 2:3. Sedangkan daun jati 20 gram dicampurkan dengan 60 mL akuades, sehingga diperoleh perbandingan 1:3.
- b. Buah mangsi dan daun jati dihancurkan dengan menggunakan blender hingga halus. Hasil penghalusan disaring menggunakan kertas saring, kemudian ditutup dengan aluminum foil dan disimpan dalam lemari es.

- c. Elektroda kerja direndam dengan *dye sensitizer* selama 6 jam, 12 jam, dan 18 jam.

7. Perakitan DSSC (Bari, 2012)

- a. Elektroda pembanding (*counter electrode*) dan elektroda kerja ditempelkan secara berhadapan.
- b. Di antara kedua elektroda diteteskan elektrolit redoks sebanyak dua tetes, kemudian sisi kedua elektroda dijepit menggunakan penjepit kertas.

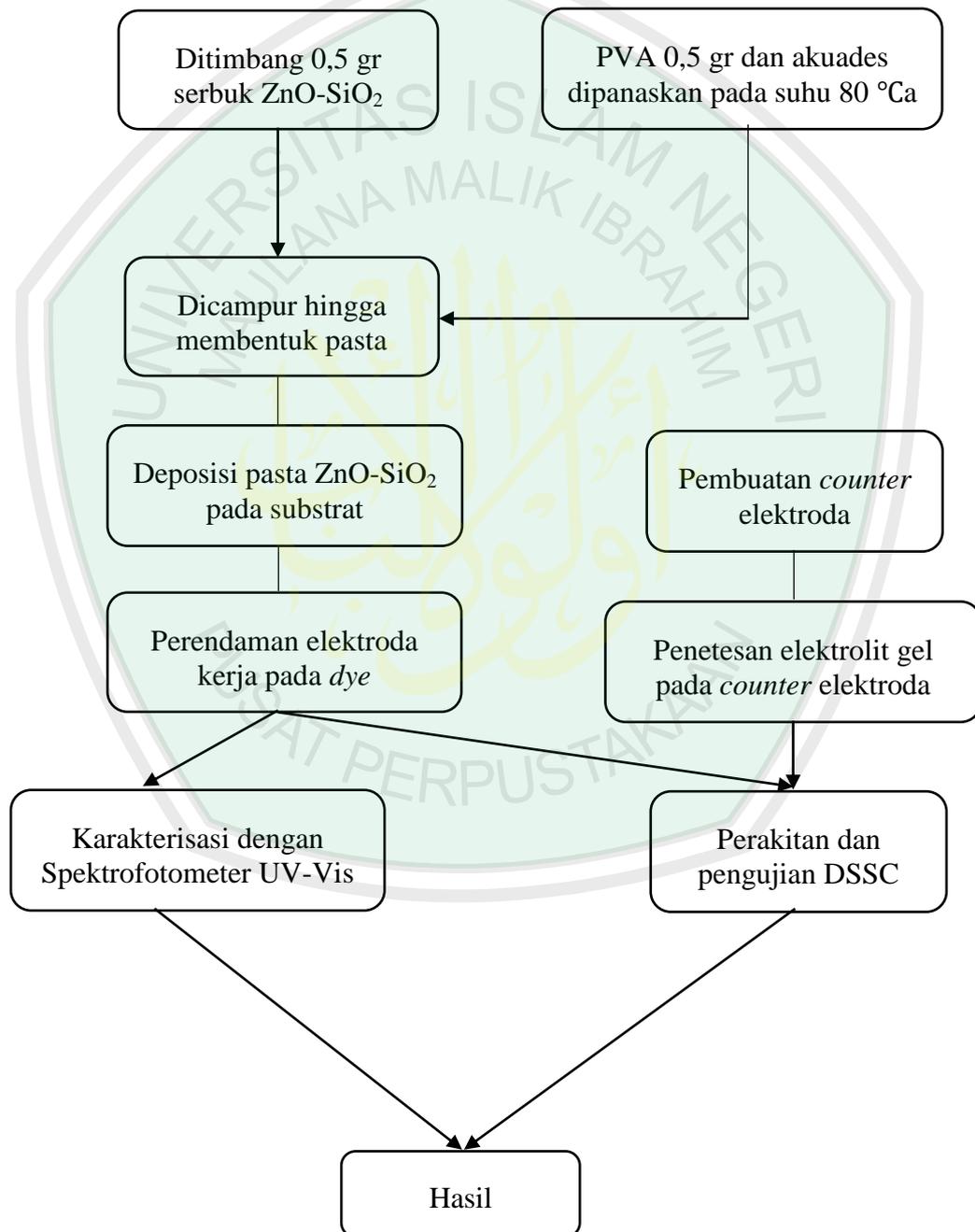
Gambar 3.2 menunjukkan susunan DSSC.



Gambar 3.2 Susunan DSSC

- c. Pengujian dilakukan menggunakan sumber cahaya lampu halogen dan matahari untuk mengukur nilai intensitas cahaya, tegangan, dan arus pada rangkaian DSSC menggunakan multimeter digital.

3.4.2 Diagram Alir Penelitian



3.5 Teknik Pengambilan Data

3.5.1 Karakterisasi Lapisan ZnO-SiO₂

Karakterisasi lapisan ZnO-SiO₂ yang direndam pada *dye* buah mangsi dan daun jati dilakukan di Laboratorium Fisika Zat Padat institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Setelah bahan direndam dengan metode di atas, lapisan ZnO-SiO₂ diuji karakterisasinya dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui absorbansi dan panjang gelombang lapisan.

Tabel 3.1 Tabel pengujian spektrofotometer UV-Vis

No.	Dye sensitizer	A (a.u)	λ (nm)
1	Buah mangsi		
2	Daun jati		

3.5.1 Pengujian Sifat Listrik DSSC

Lapisan DSSC yang terbentuk diuji sifat listriknya berupa tegangan dengan menggunakan multimeter digital. Sinar matahari dan lampu halogen sebagai sumber cahaya diarahkan tegak lurus terhadap permukaan sel surya. Hasil pengujian kemudian digunakan untuk menghitung besar efisiensi.

Tabel 3.2 Tabel pengujian listrik DSSC

Waktu Perendaman	Daun Jati				Buah Mangsi			
	V	I	P	η (%)	V	I	P	η (%)

(Volt) (A) (Watt)

(Volt) (A) (Watt)

6 jam

12 jam

18 jam



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Penelitian *dye sensitizer solar cell* (DSSC) ini terdiri dari preparasi material komponen penyusun DSSC meliputi; elektroda kerja, *counter* elektroda, ekstraksi buah mangsi dan daun jati sebagai *dye sensitizer*, pembuatan elektrolit, dan perakitan DSSC. Karakterisasi lapisan semikonduktor ZnO-SiO₂ dilakukan dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis, serta pengujian sifat listrik untuk mengetahui performansi DSSC.

4.1.1 Preparasi Sampel

Kaca LCD memiliki nilai resistansi sebesar 50-60 Ω yang dapat digunakan sebagai material konduktif pada pembuatan *solar cell*. Kaca LCD dipotong dengan ukuran 2 x 2 cm kemudian diampelas lapisan pelindung pada permukaan kaca untuk meningkatkan nilai transmisi dan penyerapan *dye sensitizer*. Pengamplasan yang dilakukan tidak mempengaruhi nilai konduktivitas pada material kaca. Potongan kaca tersebut kemudian dimasukkan ke dalam *beaker glass* yang berisi aquades dan sabun cuci (larutan pembersih) dan dilakukan pencucian dengan menggunakan *ultrasonic cleaner* selama 60 menit untuk menghilangkan partikel-partikel pengotor pada substrat kaca. Kaca yang telah dibersihkan kemudian diberi pembatas pada setiap sisi menggunakan selotip dengan ukuran 1 x 3 cm untuk sampel yang diuji menggunakan spektrofotometer UV-Vis, dan ukuran 1,5 x 1,5 cm untuk susunan DSSC.

Pembentukan elektroda kerja diawali dengan pembuatan pasta ZnO-SiO₂ yang dilakukan dengan cara menimbang 0,5 gram Polivinil Alkohol (PVA) dan dilarutkan dalam 10 mL aquades. Larutan tersebut diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada temperatur 80 °C hingga membentuk gel yang homogen (suspensi bening). Suspensi yang terbentuk berfungsi sebagai pengikat bahan semikonduktor. Kemudian ditimbang serbuk semikonduktor ZnO-SiO₂ sebanyak 0,5 gram dan ditambahkan larutan PVA. Pasta ZnO-SiO₂ yang terbentuk kemudian dilapiskan pada permukaan bagian atas substrat kaca yang tidak berselotip menggunakan *rod glass* dan diratakan secara searah dengan metode *doctor blade*. Kemudian dikeringkan di udara terbuka selama 15 menit. Kaca LCD yang dilapisi dengan semikonduktor ZnO-SiO₂ kemudian dipanaskan di dalam *oven* pada temperatur 100 °C selama 20 menit. Proses pemanasan dilakukan untuk menghilangkan kadar air pada lapisan semikonduktor yang terbentuk serta untuk meratakan kristal ZnO-SiO₂ sehingga merekat pada sisi konduktif kaca LCD. Selain itu, kenaikan temperatur pada proses pemanasan akan meningkatkan besarnya pori-pori pada lapisan semikonduktor (Deskawi, 2013).

Counter elektroda dibuat dengan melapiskan karbon pada kaca LCD. Karbon yang digunakan berasal dari pensil 2B yang diarsir searah pada sisi konduktif kaca LCD. Kemudian dipanaskan di dalam *oven* pada temperatur 100 °C selama 20 menit. Pemanasan tersebut dimaksudkan agar lapisan karbon menempel secara merata pada kaca LCD. Sousa dan Buchanan dalam Deskawi (2013) menyatakan bahwa dalam pensil 2B memiliki kandungan grafit sebesar 0,74, *clay* 0,20, dan lilin 0,05. Proses pemanasan berfungsi untuk membakar

senyawa organik yaitu lilin yang terkandung pada pensil 2B. Penggunaan karbon pada *counter* elektroda berfungsi sebagai katalis untuk mempercepat reaksi oksidasi yang terjadi dalam elektrolit redoks.

Pembuatan elektrolit dilakukan dengan melarutkan 3 gram kalium iodida (KI) ke dalam 3 mL iodin kemudian diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit. Pencampuran Kalium Iodida dan Iodin ditunjukkan dalam reaksi kimia berikut:



Larutan elektrolit akan mudah menguap dan kering jika dalam bentuk cair, sehingga dilakukan proses pembuatan elektrolit dalam bentuk gel dengan cara menambahkan 2,5 gram PEG yang dilarutkan ke dalam 5 mL *chloroform* dan diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit pada suhu 60 °C sampai homogen dan membentuk gel.

Pembuatan *dye sensitizer* dari buah mangsi dan daun jati dilakukan dengan cara ditimbang 20 gram buah mangsi dan daun jati kemudian diblender dan disaring dengan menggunakan kertas saring. Selanjutnya elektroda kerja direndam pada *dye* dengan variasi perendaman selama 6 jam, 12 jam, dan 18 jam.

Komponen penyusun DSSC terdiri dari *counter* elektroda dan elektroda kerja ditempelkan saling berhadapan. Sisi kedua elektroda dijepit menggunakan klip binder, kemudian ditetaskan elektrolit redoks di antara kedua elektroda tersebut. Selanjutnya dilakukan pengujian dengan menggunakan sumber cahaya lampu halogen dan sinar matahari untuk mengukur nilai intensitas cahaya, tegangan, dan arus pada rangkaian DSSC menggunakan multimeter digital.

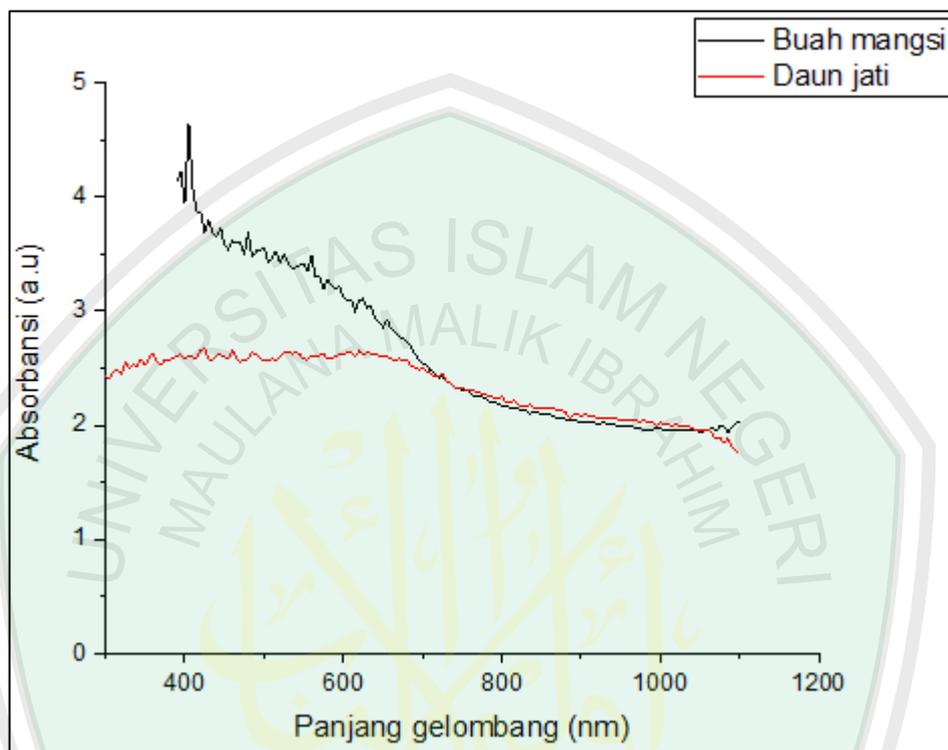
4.1.2 Hasil Karakterisasi UV-Vis Lapisan ZnO-SiO₂

Karakterisasi lapisan ZnO-SiO₂ dengan ekstrak buah mangsi dan daun jati dilakukan untuk mengetahui nilai absorbansi maksimum pada daerah panjang gelombang serapan. Karakterisasi ini dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis (Genesys 10S UV-Vis v4.003 2L9P286007) di Laboratorium Zat Padat Jurusan Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Pengujian dilakukan dengan cara menempelkan lapisan ZnO-SiO₂ pada kuvet dan dimasukkan dalam spektrofotometer UV-Vis untuk dilakukan pengukuran nilai serapan maksimumnya. Tabel 4.1 menunjukkan besar absorbansi maksimum lapisan ZnO-SiO₂.

Tabel 4.1 Absorbansi Maksimum Lapisan ZnO-SiO₂ Dengan Ekstrak Buah Mangsi dan Daun Jati

No.	Dye sensitizer	A (a.u)	λ (nm)
1	Buah mangsi	4,645	405
2	Daun jati	2,669	425

Nilai absorbansi maksimum pada lapisan ZnO-SiO₂ dari berbagai panjang gelombang serapan ditunjukkan pada gambar 4.1



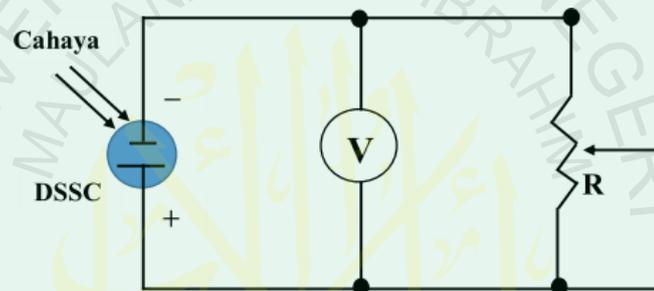
Gambar 4.1 Hasil Plot Grafik Absorbansi Sebagai Fungsi Panjang Gelombang Lapisan ZnO-SiO₂ Menggunakan Ekstrak Buah Mangsi dan Daun Jati

Gambar 4.1 menunjukkan adanya perbedaan nilai absorbansi maksimum pada lapisan ZnO-SiO₂ yang direndam dengan ekstrak buah mangsi dan ekstrak daun jati. Absorbansi lapisan dengan ekstrak buah mangsi mengalami kenaikan pada panjang gelombang 400-700 nm, sedangkan dengan ekstrak daun jati mengalami kenaikan absorbansi pada panjang gelombang 300-700 nm.

4.1.3 Hasil Uji Sifat Listrik DSSC

Pengujian sifat listrik pada rangkaian DSSC dilakukan menggunakan dua sumber cahaya berbeda, yaitu lampu halogen dan matahari. Pengujian ini

dilakukan di Laboratorium Elektromagnet Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Intensitas cahaya lampu halogen yang digunakan sebesar 23.500 lux atau setara dengan 35,156 Watt/m², sedangkan DSSC yang diuji memiliki luasan 2.25×10⁻⁴ m². Hasil *output* diukur menggunakan multimeter digital yang dihubungkan secara seri pada rangkaian DSSC. Gambar 4.2 menunjukkan skematik rangkaian uji listrik DSSC yang dihubungkan pada tegangan dan hambatan.



Gambar 4.2 Skematik Rangkaian Uji Listrik DSSC

Dari hasil pengukuran diperoleh data berupa nilai tegangan (V). Sedangkan nilai kuat arus diperoleh dengan melakukan pendekatan menggunakan persamaan berikut:

$$I = \frac{V}{R} \quad (4.2)$$

Kemudian dihitung nilai daya (P) dan efisiensinya (η) menggunakan persamaan:

$$\eta = \frac{P}{I A} \times 100\% \quad (4.3)$$

Dengan η adalah efisiensi. P_{cahaya} adalah daya yang digunakan dalam pengujian dan P adalah daya maksimum. Daya maksimum merupakan hasil terbesar dari

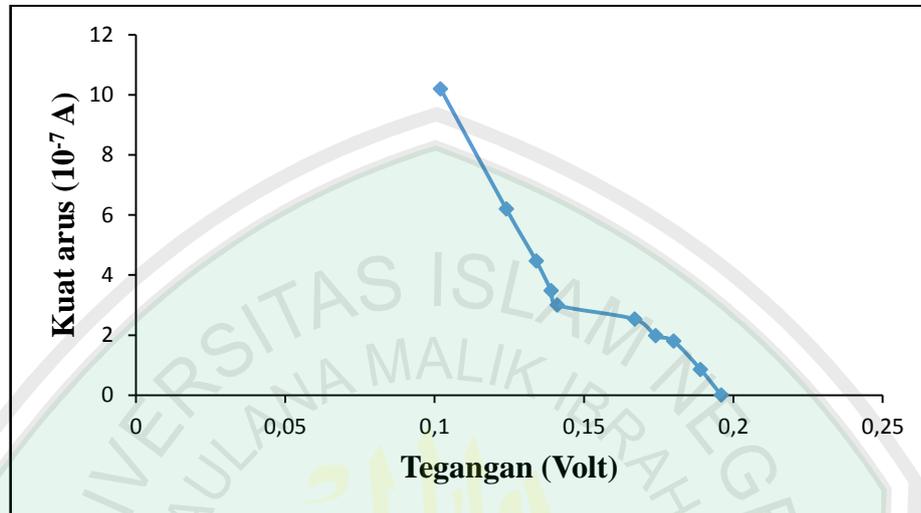
perkalian arus dengan tegangan DSSC saat variasi beban berubah-ubah (membentuk kurva I-V). Variasi hambatan (R) yang digunakan yaitu 100 k Ω ; 200 k Ω ; 300 k Ω ; 400 k Ω ; 470 k Ω ; 660 k Ω ; 880 k Ω ; 1 M Ω ; 2,2 M Ω ; dan tak hingga (∞), pengambilan data dilakukan tiap 30 detik. Tabel 4.1 adalah hasil pengukuran tegangan dan arus menggunakan sumber cahaya lampu halogen pada intensitas 35,156 Watt/m².

Tabel 4.2 Hasil Uji Listrik DSSC Dengan *Dye* Buah Mangsi dan Daun Jati Di Bawah Lampu Halogen

R	Buah mangsi			Daun jati	
	Intensitas (Watt/m ²)	V (Volt)	I (10 ⁻⁷ A)	V (Volt)	I (10 ⁻⁸ A)
100 k Ω	35,156	0,102	10,2	0,004	4
200 k Ω	35,156	0,124	6,20	0,008	4
300 k Ω	35,156	0,134	4,47	0,012	4
400 k Ω	35,156	0,139	3,48	0,013	3,25
470 k Ω	35,156	0,141	3,00	0,017	3,62
660 k Ω	35,156	0,167	2,53	0,025	3,79
880 k Ω	35,156	0,174	1,98	0,026	2,95
1 M Ω	35,156	0,18	1,80	0,028	2,8
2,2 M Ω	35,156	0,189	0,86	0,055	2,5
∞	35,156	0,196	0	0,074	0

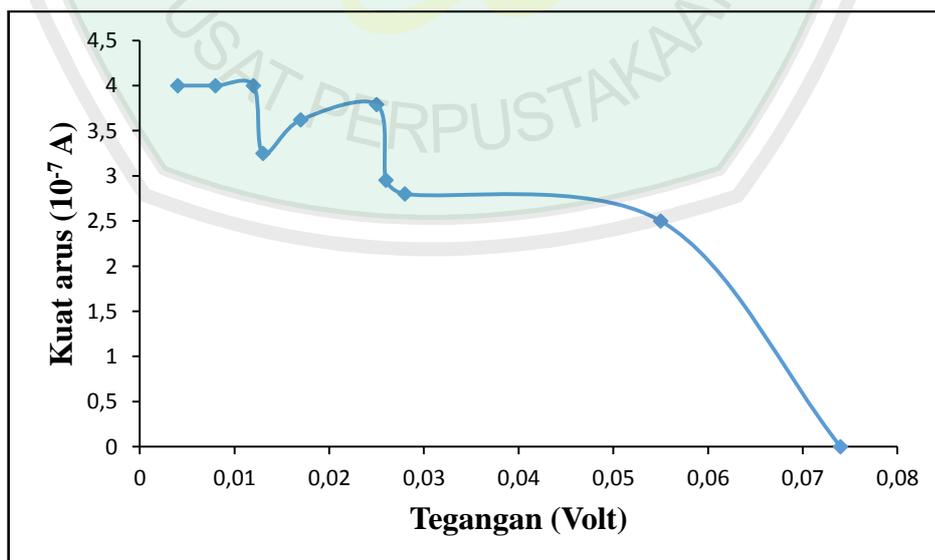
Berdasarkan hasil pengukuran tegangan DSSC pada tabel 4.2 menunjukkan bahwa keluaran tegangan sel surya dengan *dye* buah mangsi lebih baik daripada dengan *dye* daun jati, dan hasil tegangan keduanya tidak stabil. Pengukuran sel surya dengan *dye* buah mangsi dan daun jati menghasilkan data keluaran arus yang semakin menurun. Namun pada hambatan 100-300 k Ω , DSSC dengan *dye* daun jati menghasilkan arus yang stabil. Besar hambatan yang diberikan pada rangkaian DSSC berpengaruh terhadap nilai arus dan tegangan

yang dihasilkan. Keluaran tegangan dan kuat arus digambarkan oleh kurva I-V seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.5.



Gambar 4.3 Kurva Karakteristik I-V DSSC Bermaterial *Dye* Buah Mangsi Dengan Lama Perendaman 6 Jam Menggunakan Lampu Halogen

Kurva karakteristik I-V DSSC dengan *dye* daun jati dapat dilihat pada gambar 4.6 menggunakan sumber cahaya lampu halogen.



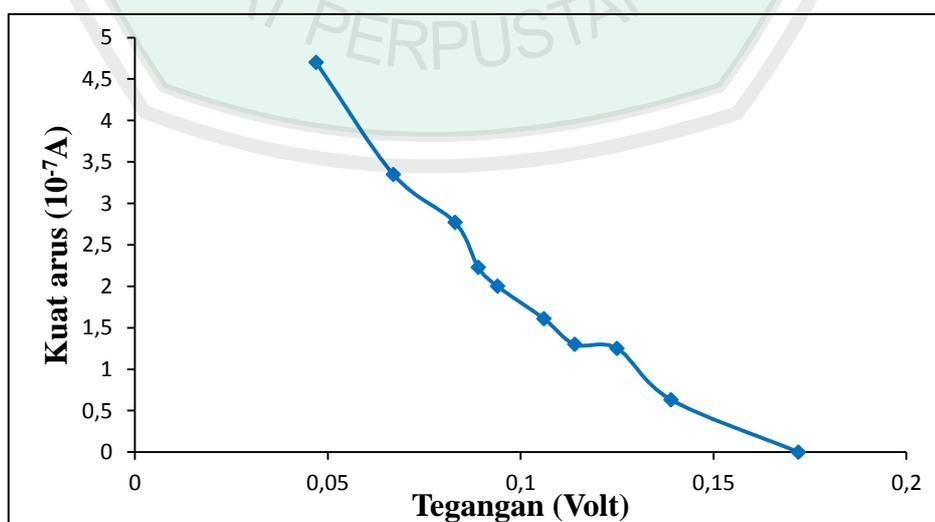
Gambar 4.4 Kurva Karakteristik I-V DSSC Bermaterial *Dye* Daun Jati Dengan Lama Perendaman 6 Jam Menggunakan Lampu Halogen

Pengukuran tegangan dan kuat arus pada lama perendaman 6 jam juga dilakukan dengan menggunakan sumber cahaya matahari, seperti ditunjukkan oleh tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Uji Listrik DSSC Dengan *Dye* Buah Mangsi dan Daun Jati Di Bawah Matahari

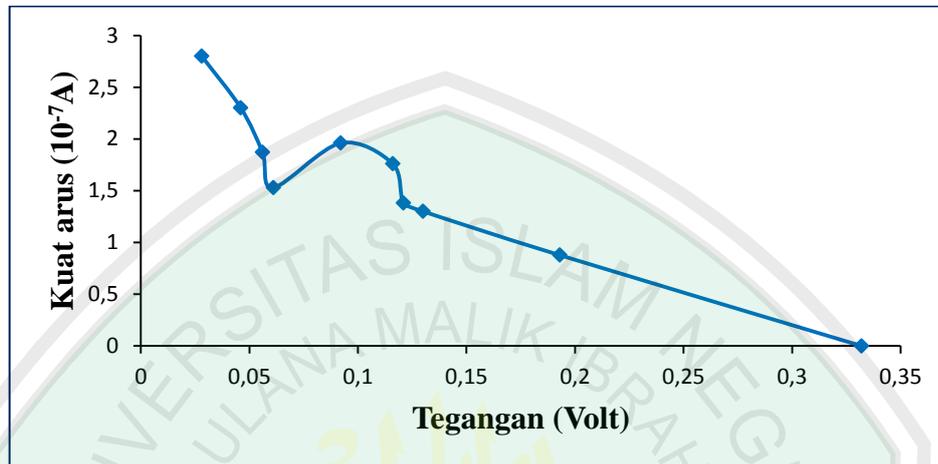
R	Buah mangsi			Daun jati		
	Intensitas (Watt/m ²)	V (Volt)	I (10 ⁻⁷ A)	Intensitas (Watt/m ²)	V (Volt)	I (10 ⁻⁷ A)
100 kΩ	120.3	0.047	4,7	114.3	0,028	2,80
200 kΩ	120.7	0,067	3,35	115.8	0,046	2,30
300 kΩ	120.9	0,083	2,77	115.8	0,056	1,87
400 kΩ	121.6	0,089	2,23	115.9	0,061	1,53
470 kΩ	122.7	0,094	2	114.9	0,092	1,96
660 kΩ	116.4	0,106	1,61	113.5	0,116	1,76
880 kΩ	68.5	0,114	1,3	113.4	0,121	1,38
1 MΩ	121.1	0,125	1,25	104.3	0,13	1,30
2,2 MΩ	120.4	0,139	0,632	115.2	0,193	0,877
∞	122.2	0,172	0	115.6	0,332	0

Keluaran tegangan dan kuat arus digambarkan oleh kurva I-V seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Kurva Karakteristik I-V DSSC Bermaterial *Dye* Buah Mangsi Dengan Lama Perendaman 6 Jam Menggunakan Matahari

Kurva karakteristik I-V DSSC dengan *dye* daun jati dapat dilihat pada gambar 4.6 menggunakan sumber cahaya matahari.



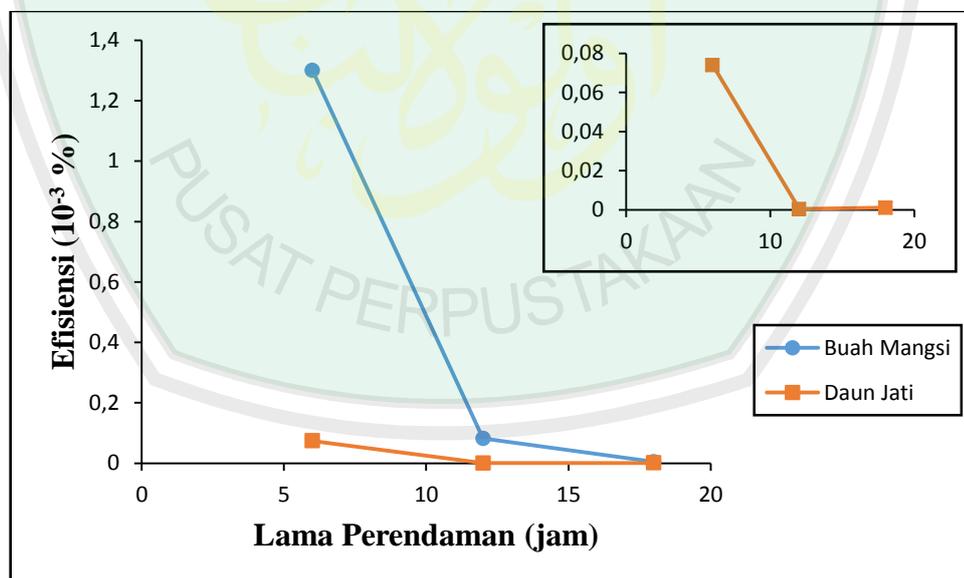
Gambar 4.6 Kurva Karakteristik I-V DSSC Bermaterial *Dye* Daun Jati Dengan Lama Perendaman 6 Jam Menggunakan Matahari

DSSC dengan ekstrak buah mangsi dan daun jati memiliki nilai tegangan paling tinggi pada perendaman selama 6 jam. Performansi sel surya juga meliputi nilai efisiensi seperti terlihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Efisiensi DSSC Dengan Sumber Cahaya Halogen

Dye Sensitizer	Waktu Perendaman	V(Volt)	I(A)	P(Watt)	η (10^{-3} %)
Buah mangsi	Tanpa perendaman	-	-	-	-
	6 Jam	0,102	$1,02 \times 10^{-6}$	$1,04 \times 10^{-7}$	1,3
	12 Jam	0,044	$1,47 \times 10^{-7}$	$6,45 \times 10^{-9}$	0,0816
	18 Jam	0,016	$2,42 \times 10^{-8}$	$3,88 \times 10^{-9}$	0,0049
Daun jati	Tanpa perendaman	-	-	-	-
	6 jam	0,055	$2,5 \times 10^{-8}$	$1,38 \times 10^{-9}$	0,074
	12 Jam	0,0058	$5,80 \times 10^{-9}$	$3,36 \times 10^{-11}$	0,000425
	18 Jam	0,0057	$1,43 \times 10^{-8}$	$8,12 \times 10^{-11}$	0,00103

Tabel 4.4 menunjukkan bahwa lama waktu perendaman dalam *dye sensitizier* mempengaruhi besar tegangan dan arus yang dihasilkan. Pengukuran nilai efisiensi tanpa direndam dalam *dye* menghasilkan tegangan dan arus yang sangat kecil, sehingga nilainya tidak terukur oleh multimeter. DSSC dengan ekstrak buah mangsi dan daun jati memiliki nilai tegangan paling tinggi pada perendaman selama 6 jam, baik menggunakan sumber cahaya lampu halogen atau matahari. Nilai daya dan efisiensi paling besar dihasilkan oleh DSSC yang direndam menggunakan ekstrak buah mangsi selama 6 jam. Sedangkan Nilai daya dan efisiensi paling kecil dihasilkan oleh DSSC yang direndam menggunakan ekstrak daun jati selama 12 jam. Gambar 4.7 menunjukkan penurunan daya dan efisiensi DSSC seiring lamanya waktu perendaman.



Gambar 4.7 Pengaruh Lama Perendaman Terhadap Efisiensi DSSC Menggunakan Sumber Cahaya Lampu Halogen

Nilai efisiensi pada DSSC dengan ekstrak buah mangsi dan daun jati cenderung menurun seiring lamanya waktu perendaman. Namun, pada lama perendaman selama 18 jam, efisiensi dengan *dye* daun jati mengalami kenaikan.

4.2 Pembahasan

DSSC merupakan sel surya berbasis fotoelektrokimia dan menggunakan elektrolit sebagai medium *transport* muatan. DSSC terbagi menjadi beberapa bagian yang terdiri dari nanopori bahan semikonduktor, molekul *dye* yang terabsorpsi di permukaan bahan semikonduktor, dan katalis yang semuanya dideposisi di antara dua kaca konduktif.

DSSC dengan menggunakan molekul *dye* dapat dikembangkan pada penggunaan bahan-bahan pewarna alami. Molekul *dye* yang sering digunakan adalah *dye* jenis *ruthenium complex* yang memiliki efisiensi tinggi. Namun, *dye* jenis ini sulit untuk disintesa dan harganya yang cukup mahal. Sehingga digunakan *dye sensitizer* alami yang mudah untuk disintesa dengan biaya murah, seperti buah mangsi dan daun jati. Allah SWT berfirman dalam al Quran pada surat an Nahl (16): 11:

يُنْبِتُ لَكُمْ بِهِ الزَّرْعَ وَالزَّيْتُونَ وَالنَّخِيلَ وَالْأَعْنَابَ وَمِنْ كُلِّ الشَّجَرِ إِنَّ فِي ذَلِكَ
لَآيَةً لِّقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ ﴿١١﴾

“Dia menumbuhkan bagi kamu dengan air hujan itu tanam-tanaman; zaitun, korma, anggur dan segala macam buah-buahan. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar ada tanda (kekuasaan Allah) bagi kaum yang memikirkan” (Q.S. an Nahl: 11).

Menurut tafsir Ibnu Katsir bahwa kata (الْتَّمْرَات) yang dimaksud di sini bukan hanya buah-buahan, tetapi buah hasil tanaman, sehingga mencakup buah-buahan dan selain buah-buahan. Allah SWT menumbuhkan bumi dengan berbagai macam tanam-tanaman untuk dapat dimanfaatkan oleh manusia. Selain dapat dimanfaatkan sebagai tanaman pangan dan obat, juga dapat dimanfaatkan sebagai salah satu bahan pembangkit sel surya berbasis *dye*. Tumbuh-tumbuhan serta buah-buahan yang beragam warna dapat diolah sebagai bahan dasar pembuatan DSSC. DSSC merupakan energi alternatif sel surya dengan memanfaatkan zat warna sebagai medium penyerapan energi. Namun, tidak semua warna pada tanaman dapat diekstrak menjadi bahan *dye*. Warna yang cenderung lebih gelap memiliki daya penyerapan energi yang lebih besar jika digunakan sebagai zat warna pada DSSC. Tanaman buah mangsi dan daun jati merupakan beberapa tanaman yang dapat digunakan sebagai bahan utama pembuatan DSSC.

Berdasarkan hasil pengujian UV-Vis, lapisan ZnO-SiO₂ dengan ekstrak buah mangsi dan daun jati memiliki karakteristik tingkat penyerapan yang berbeda, yaitu tingkat penyerapan sebesar 4 a.u pada panjang gelombang cahaya 390 - 410 nm dengan *dye* ekstrak buah mangsi, dan tingkat penyerapan dengan *dye* daun jati sebesar 2 a.u pada panjang gelombang cahaya 270 – 700 nm. Rentang panjang gelombang serapan lapisan dengan *dye* daun jati lebih lebar daripada dengan *dye* buah mangsi. Sedangkan, nilai absorbansi kedua sampel menurun seiring dengan kenaikan nilai panjang gelombang, yaitu di daerah 700-1200 nm.

Nilai rentang panjang gelombang serapan pada lapisan ZnO-SiO₂ dengan *dye* buah mangsi yaitu sebesar 400–650 nm. Sedangkan absorbansi dengan *dye* daun jati memiliki rentang panjang gelombang serapan 300–650 nm. Pada rentang panjang gelombang tersebut menunjukkan bahwa lapisan ZnO-SiO₂ dengan *dye* buah mangsi dan daun jati dapat mengabsorpsi cahaya dalam daerah *visible*. Lapisan semikonduktor ZnO-SiO₂ memiliki nilai absorbansi maksimum pada daerah UV, sehingga dengan penambahan *dye* pada lapisan semikonduktor mampu menaikkan nilai absorbansi pada rentang daerah *visible*. Hal ini dikarenakan energi yang dibutuhkan untuk mengeksitasi elektron menjadi lebih kecil. Karakteristik sel surya yang baik mempunyai serapan maksimum pada daerah *visible*. Besarnya nilai absorbansi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya pigmen dan kandungan antosianin *dye*, porositas bahan semikonduktor, dan kehomogenan pasta semikonduktor.

Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya menunjukkan bahwa absorbansi *dye* dapat mempengaruhi nilai efisiensi yang dihasilkan. Sel surya tersensitisasi *dye* dari klorofil bayam yang memiliki absorbansi cahaya pada panjang gelombang 400-700 nm memberikan performansi beda potensial 0,1 V dan arus sekitar 149 μ A dengan intensitas penyinaran 1050 lux (Wijayanti, 2010). DSSC dengan *dye* buah naga dengan serapan maksimum pada 535 nm menghasilkan daya sebesar 13 μ W, dan efisiensi 0,22 % (Ali dan Nayan, 2010). Sari dkk (2012) menyatakan bahwa buah mangsi memiliki kandungan flavonoid dengan absorbansi maksimum ± 3 a.u pada panjang gelombang 500–600 nm. Sedangkan Yulianti (2015) menyatakan bahwa absorbansi maksimum daun jati

sebesar 0,106 a.u pada panjang gelombang 332,9 nm di daerah UV lebih besar daripada absorbansi ekstrak temu ireng, sehingga diketahui bahwa ekstrak buah mangsi memiliki absorbansi yang lebih tinggi dibanding ekstrak daun jati.

Pengujian sifat listrik DSSC dilakukan pada dua tempat yang berbeda, yaitu di dalam ruangan tertutup dengan menggunakan sumber cahaya lampu halogen dengan intensitas konstan 35,156 Watt/m² dan di tempat terbuka menggunakan sumber cahaya matahari. Pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa DSSC dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik. Foton yang melewati kaca konduktif diabsorpsi oleh *fotosensitizer* dan mengeksitasi elektron dari *dye* ke keadaan tereksitasi. Melalui transfer muatan, elektron yang berada pada keadaan tereksitasi akan turun ke pita konduksi dari ZnO-SiO₂, elektron akan mengalir dari elektroda kerja menuju *counter* elektroda. Elektron yang berada di *counter* elektroda akan bereaksi dengan elektrolit gel dan menyebabkan terjadinya reaksi redoks pada elektrolit.

Perubahan nilai energi matahari menjadi energi listrik dapat dilihat melalui pengukuran menggunakan multimeter digital. Berdasarkan tabel 4.2 dan tabel 4.3, tegangan yang dihasilkan sel surya sudah cukup baik, namun arus yang dihasilkan kurang optimal. Rendahnya arus pada sel surya disebabkan oleh beberapa faktor yaitu ukuran partikel dan ketebalan pasta ZnO-SiO₂ saat dideposisikan pada substrat, lama perendaman pada *dye*, dan intensitas sumber cahaya yang diserap oleh *dye*. Bahan ZnO-SiO₂ dalam skala mikro menyebabkan sedikitnya jumlah *dye* yang terabsorpsi pada permukaan ZnO-SiO₂, sehingga mengakibatkan rendahnya kinerja sel surya yang dihasilkan. Bahkan, semakin tebal lapisan pasta

semikonduktor maka semakin sedikit elektron yang dapat mengalir menuju lapisan kaca konduktif. Hal ini disebabkan karena sebagian elektron ditangkap oleh *dye* yang teroksidasi.

Hasil uji sifat listrik menunjukkan bahwa DSSC dengan *dye* buah mangsi dan daun jati memiliki karakteristik I-V yang berbeda. DSSC dengan menggunakan *dye* buah mangsi memiliki nilai tegangan dan kuat arus lebih besar jika dibandingkan menggunakan *dye* daun jati. Tegangan yang dihasilkan oleh sel surya nanokristal tersensitisasi pewarna berasal dari perbedaan tingkat energi konduksi elektroda semikonduktor dengan potensial elektrokimia pasangan elektrolit redoks. Sedangkan arus yang dihasilkan oleh sel surya merupakan banyaknya jumlah foton yang terserap dalam proses konversi energi, yang bergantung pada intensitas penyinaran, dan kinerja pewarna yang digunakan.

Kinerja DSSC menggunakan *dye* buah mangsi seperti pada gambar 4.3 dan 4.5 menunjukkan bahwa semakin besar nilai hambatan yang diberikan, maka tegangan yang dihasilkan semakin meningkat dan arus yang dihasilkan semakin kecil. Sedangkan gambar 4.4 dan 4.6 menunjukkan bahwa nilai tegangan yang dihasilkan DSSC juga semakin meningkat namun arus yang mengalir mengalami penurunan yang tidak stabil. Nilai kuat arus yang tidak stabil pada DSSC disebabkan karena masing-masing tegangan pada hambatan tertentu memiliki selisih nilai yang sangat kecil, sehingga ketika dilakukan perhitungan menggunakan pendekatan hukum ohm, nilai arus mengalami kenaikan dan penurunan. Pemberian elektrolit yang tidak merata pada elektroda, juga mampu mengurangi pergerakan elektron dalam menghasilkan arus. Rofi'ah (2013)

menyatakan bahwa elektrolit dengan campuran PEG memiliki karakteristik tidak dapat mengikat senyawa-senyawa lain dari komposisi elektrolit sehingga menghasilkan arus yang stabil.

Pada intensitas konstan, nilai tegangan paling tinggi terdapat pada DSSC menggunakan *dye* buah mangsi dengan lama perendaman selama 6 jam, yaitu sebesar 0,196 volt. Sedangkan pada DSSC dengan *dye* daun jati nilai tegangan yang dihasilkan sebesar 0,074 volt dengan lama perendaman selama 6 jam. Kemampuan DSSC untuk menghasilkan energi listrik sangat dipengaruhi oleh banyaknya foton yang ditangkap oleh *dye*. Banyaknya foton tersebut bergantung pada intensitas cahaya yang ditransmisikan oleh kaca konduktif. Semakin besar intensitas yang ditransmisikan oleh kaca, maka semakin besar keluaran dari DSSC. Performansi DSSC bergantung pada intensitas cahaya yang diberikan, sehingga nilai efisiensi yang dihasilkan mengalami perbedaan.

Lama perendaman pada *dye* juga dapat mempengaruhi nilai efisiensi yang dihasilkan seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.4. Susunan DSSC menggunakan *dye* buah mangsi dengan sumber cahaya lampu halogen, menghasilkan efisiensi maksimum pada lama perendaman 6 jam sebesar $1,3 \times 10^{-3}$ %. Selanjutnya tegangan dan arus semakin menurun pada waktu perendaman selama 12 jam dan 18 jam dengan efisiensi masing-masing sebesar $0,0816 \times 10^{-3}$ % dan $0,0049 \times 10^{-3}$ % . Sedangkan efisiensi DSSC dengan *dye* daun jati memiliki nilai maksimum pada lama perendaman selama 6 jam sebesar $0,074 \times 10^{-3}$ %, nilai efisiensi DSSC mengalami penurunan pada lama perendaman 12 jam sebesar $0,000425 \times 10^{-3}$ % ,

dan kenaikan nilai secara tiba-tiba pada lama perendaman 18 jam, sebesar $0,00103 \times 10^{-3} \%$.

Karakteristik DSSC dengan perlakuan perendaman lebih lama rata-rata menghasilkan efisiensi yang lebih kecil. DSSC menggunakan *dye* buah mangsi mengalami penurunan efisiensi seiring lamanya waktu perendaman. Sedangkan DSSC menggunakan *dye* daun jati mengalami penurunan dan dan kenaikan pada lama perendaman 12 jam dan 18 jam. Penurunan nilai efisiensi secara tiba-tiba ini dikarenakan sebagian lapisan terdegradasi oleh larutan *dye*, sehingga semikonduktor ZnO-SiO₂ yang berfungsi untuk menampung elektron dari *dye* kurang optimal akibat kurang maksimalnya semikonduktor dalam mengikat *dye*. Dengan demikian, DSSC dengan lama perendaman 18 jam memiliki kemampuan yang lebih optimal dibanding lama perendaman selama 12 jam dalam mengikat *dye*.

Colegero (2008) menyatakan bahwa yang mempengaruhi rendahnya efisiensi menggunakan sensitizer zat warna alami antara lain agregasi zat warna pada lapisan nanokristal semikonduktor yang menyebabkan absorpsi foton oleh pewarna tidak mampu menginjeksi elektron sehingga eksiton pada molekul *dye* mengalami rekombinasi atau tidak “terpompa” pada pita konduksi semikonduktor yang menyebabkan minimnya aliran elektron dan kecilnya nilai perbedaan potensial sel, serta serapan panjang gelombang dari *sensitizer*. Hal ini menjadi salah satu penyebab semakin menurunnya nilai efisiensi sel surya. Jika dibandingkan dengan penelitian ini, DSSC pada semikonduktor ZnO-SiO₂ dengan *dye* buah mangsi memiliki performansi sel surya yang lebih baik daripada dengan

dye daun jati. Sumber cahaya yang diserap oleh sel surya juga mempengaruhi performa sel.

Pengukuran dengan sumber cahaya matahari cenderung menghasilkan keluaran yang relatif lebih tinggi daripada menggunakan lampu halogen. Hal ini karena panjang gelombang matahari adalah polikromatis. Sedangkan lampu halogen memiliki panjang gelombang 371–697 nm, sehingga memungkinkan lebih banyak gelombang yang diserap pada pengukuran menggunakan cahaya matahari.

4.3 Sel Surya DSSC dalam Perspektif Islam

Dalam agama islam, al Qur'an adalah sumber petunjuk dan pedoman hidup bagi manusia, karena di dalamnya mengandung petunjuk-petunjuk yang membawa manusia untuk mempelajari berbagai hal yang ada di dunia dan di akhirat. Al Qur'an tidak hanya berisi ilmu tauhid, melainkan segala ilmu pengetahuan sains yang ada di alam semesta. Umat islam sebagai kaum intelektual muslim sudah seharusnya mengkaji lebih jauh fenomena-fenomena sains yang terdapat di dalam al Qur'an, melalui berbagai kegiatan penelitian. Suatu penelitian juga dikategorikan sebagai salah satu upaya untuk menggali potensi alamiah yang diberikan Allah SWT kepada makhluknya.

Sebagai manusia yang dianugrahi akal, manusia dituntut untuk berpikir tentang segala sesuatu yang ada di sekelilingnya. Dengan adanya gejala-gejala alam yang ada di Bumi ini manusia dapat mencermati dan belajar sehingga bisa mengambil pelajaran dari segala sesuatu yang ada di Bumi. Salah satu gambaran orang yang berpikir yaitu dengan melakukan penelitian yang bermanfaat bagi

manusia tanpa merusak segala yang ada di Bumi, seperti *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC). Allah menciptakan matahari sebagai pelindung seluruh umat manusia.

Maha besar Allah SWT dalam surat Ibrahim (14): 33:

وَسَخَّرَ لَكُمُ الشَّمْسَ وَالْقَمَرَ دَائِبَيْنِ ۖ وَسَخَّرَ لَكُمُ اللَّيْلَ وَالنَّهَارَ ﴿٣٣﴾

“Dan Dia telah menundukkan (pula) bagimu Matahari dan bulan yang terus menerus beredar (dalam orbitnya); dan telah menundukkan bagimu malam dan siang” (Q.S. Ibrahim: 33).

Menurut Sayyid Quthub makna *وَسَخَّرَ لَكُمُ الشَّمْسَ* yaitu Allah SWT menundukkan matahari dengan cahayanya sebagai nikmat-Nya, dan menjadikan matahari berjalan mengelilingi garis edarnya. Allah menundukkan Matahari secara terus menerus baik ketika ia beredar pada orbitnya atau ketika ia bersinar dan tidak bersinar. Dengan ciptaan Allah SWT ini, manusia diharapkan dapat memanfaatkan matahari secara langsung seperti halnya memanfaatkan air, buah-buahan, laut, bahtera, dan sungai. Salah satu pemanfaatan matahari yaitu radiasinya yang sampai ke bumi dalam bentuk paket-paket foton yang kemudian dapat digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga surya.

Dalam pembuatan DSSC, selain memanfaatkan matahari sebagai energi pembangkit listriknya, juga memanfaatkan tumbuh-tumbuhan sebagai bahan *dye sensitizer*. Hasil penelitian menyebutkan bahwa susunan DSSC dengan *dye* buah mangsi menghasilkan efisiensi dan absorbansi lebih tinggi daripada dengan *dye* daun jati. Kandungan dan warna pada kedua *dye* tersebut menyebabkan perbedaan nilai absorbansi. Buah mangsi memiliki warna serapan yang lebih tinggi daripada

daun jati, sehingga mampu menyerap foton dalam jumlah yang lebih banyak.

Sebagaimana firman Allah dalam surat Az-Zumar (39): 21:

أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَسَلَكَهُ وَ يَنْبِيعَ فِي الْأَرْضِ ثُمَّ يُخْرِجُ بِهِ زَرْعًا
مُخْتَلِفًا أَلْوَانُهُ ثُمَّ يَهْبِجُ فَتَرْهُ مُصْفَرًّا ثُمَّ يَجْعَلُهُ حُطَامًا إِنَّ فِي ذَلِكَ لَذِكْرًا لِأُولِي
الْأَلْبَابِ ﴿٢١﴾

“Apakah kamu tidak memperhatikan, bahwa sesungguhnya Allah menurunkan air dari langit, maka diaturnya menjadi sumber-sumber air di bumi kemudian ditumbuhkan-Nya dengan air itu tanam-tanaman yang bermacam-macam warnanya, lalu menjadi kering lalu kamu melihatnya kekuning-kuningan, kemudian dijadikan-Nya hancur berderai-derai. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat pelajaran bagi orang-orang yang mempunyai akal” (Q.S az-Zumar: 21).

Menurut Quraish Shihab bahwa Allah menurunkan air dari langit, maka diaturnya menjadi sumber-sumber air di bumi kemudian ditumbuhkan-Nya tanaman yang bermacam-macam warnanya. Ayat tersebut menunjukkan bahwa perbedaan warna dari setiap tanaman memiliki kandungan dan fungsi yang berbeda-beda. Dan itu sebetulnya adalah rahmat dan anugerah yang besar bagi manusia yang memiliki akal untuk melihatnya, sebagai bentuk keadilan dan kasih sayang kepada umat-Nya, yang dapat dipelihara dan dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan, dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Ekstrak buah mangsi dan daun jati mempengaruhi daya serap lapisan semikonduktor ZnO-SiO₂. Nilai absorbansi maksimum lapisan yang direndam pada ekstrak buah mangsi sebesar 4,669 a.u pada panjang gelombang 405 nm. Sedangkan absorbansi maksimum lapisan yang direndam pada ekstrak daun jati sebesar 2,669 a.u pada panjang gelombang 425 nm pada rentang daerah *visible*.
2. DSSC dengan ekstrak buah mangsi dan daun jati mempengaruhi efisiensi yang dihasilkan. Susunan DSSC menggunakan *dye* buah mangsi dan daun jati menghasilkan efisiensi maksimum pada lama perendaman 6 jam, masing-masing sebesar $1,3 \times 10^{-3} \%$ dan $0,074 \times 10^{-3} \%$.
3. Lama perendaman elektroda kerja dalam *dye* berpengaruh terhadap nilai efisiensi yang dihasilkan. Karakteristik DSSC dengan perlakuan perendaman lebih lama, rata-rata menghasilkan keluaran yang lebih kecil. Hal ini dikarenakan *dye* yang mampu diabsorpsi oleh semikonduktor ZnO-SiO₂ memiliki batas maksimal untuk mengisi rongga-rongga yang terdapat pada semikonduktor. Semakin banyak *dye* yang menempel pada semikonduktor akan menyebabkan lapisan semikonduktor tertutup oleh *dye*, sehingga

menghambat laju elektron yang tereksitasi oleh *dye* menuju pita konduksi semikonduktor.

5.2 Saran

Untuk pengembangan lebih lanjut dari skripsi ini maka diberikan beberapa saran berikut:

1. Perlu dilakukan pengujian UV-Vis pada lapisan ZnO-SiO₂ yang direndam pada *dye* dan tanpa perendaman untuk mengetahui perbedaan karakter kedua lapisan tersebut.
2. Perlu dilakukan kajian lebih lanjut pada penggunaan kaca konduktif yang lebih tinggi nilai konduktivitasnya, sehingga dapat meningkatkan nilai efisiensinya.
3. Perlu digunakan bahan semikonduktor ZnO-SiO₂ dalam ukuran nano untuk menghasilkan serapan *dye* yang lebih lebar.

DAFTAR PUSTAKA

- Abat dkk. 2013. *DSSC (Dye-Sensitized Solar Cell) Sebagai Sumber Energi Alternatif Ramah Lingkungan*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Calogero, G. Marco. 2008. "Red Sicilian Orange And Purple Eggplant Fruits as Natural Sensitizers For Dye-Sensitized Solar Cells". *Solar Energy Materials & Solar Cells*. New York: Solaronix SA.
- Deskawi, Oki. 2012. *Potensi Ekstrak Kasar Teh Hitam (Camellia sinensis O.K. var. Assamica) Sebagai Pewarna (Dye) Pada Pembuatan Sel Surya Pewarna Tersensitisasi (SSPT)*. Malang: UIN.
- Fennema. 1996. *Food and Chemistry*. 3th Edition. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Fitriya, Lalili N. 2015. *Pengaruh Variasi Komposisi Terhadap Sifat Listrik Bahan Semikonduktor MgO-SnO₂*. Sksripsi. Malang: UIN Maliki Malang.
- Flavin, Christopher. 1995. *Gelombang Revolusi Energi*. Jakarta: IKAPI
- Fathinatullabibah. 2014. *Stabilitas Antosianin Ekstrak Daun Jati (Tectona grandis) terhadap Perlakuan pH dan Suhu*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Fatiatun. 2015. *Pengaruh Suhu Deposisi Terhadap Sifat Fisis Film Tipis Seng Oksida Doping Galium Oksida Dengan Metode Dc Magnetron Sputtering*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Haliq dan Susanti. 2014. *Pengaruh Variasi Temperatur Kalsinasi Terhadap Sensitivitas Sensor Gas CO Dari Material Zinc Oxide Hasil Proses Hidrotermal*. Surabaya: ITS.
- Hardeli. 2011. *Pembuatan Prototipe Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) Menggunakan Ubi Jalar Ungu, Wortel dan Kunyit Sebagai Sumber Zat Warna*. Padang: UNP.
- Ibnu, Katsir. 1991. *Tafsir Al-Qur'anul 'adzim*. Beirut: Daarul Jiil.
- Jha, A.R. 2010. *Solar Cell Technology and Applications*. New York: CRC Press.
- Juoro, Umar. 2011. *Kebenaran al-Qur'an Dalam Sains*. Jakarta: Pustaka Cidesindo.

- Karasovec, U. O, Berginc, M, Hocevar, M, and Topic, M. 2009. *Unique TiO₂ Paste For High Efficiency Dye-Sensitized Solar Cell*. Solar Energy Materials & Solar Cell. Switzerland: Solaronix SA.
- Martineau, J.A. 2011. *Dye Solar Cell for Real The Assembly Guide for Making Your Own Solar Cells*. Switzerland: Solaronix SA.
- Mawyin, J.A. 2009. *Characterization Of Anthocyanin Based Dye-Sensitized Organic Solar Cell (DSSC) And Modifications Based On Bio-Inspired Ion Mobility Improvement*. New York: Stony Brook University.
- Mutiawati dkk. 2013. *Penetapan Kadar Pigmen Antosianin Daun Jati (Tectona grandis L.f) sebagai Bahan Pewarna Alami Makanan dengan Spektrofotometri UV-Vis*. PKM Penelitian. Surakarta: Universitas Setia Budi.
- Nafi, Maula dan Diah Susanti. 2013. *Aplikasi Semikonduktor TiO₂ dengan Variasi Temperatur dan Waktu Tahan Kalsinasi sebagai Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) dengan Dye dari Ekstrak Buah Terung Belanda (Solanum betaceum)*. Jurnal Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Nugrahawati, Dewi. 2012. *Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Mawar Merah (Rosa Damascena Mill) Sebagai Peawarna Alami Berbasis Antosianin*. Skripsi. Semarang: Universitas Sebelas Maret.
- Nugroho, Anung. 2012. *Kajian Penggunaan Macam dan Dosis Pupuk Kandang Terhadap Pertumbuhan Stek Tanaman Mangsi Phyllanthus reticulatus Poir*. Surakarta: UNS.
- Patel, Mukund R. 2006. *Wind and Solar Power System (Design, Analysis, and Operation)*. New York: Francis Group.
- Prasatya, A.N dan Susanti, D. 2013. *Pengaruh Temperatur Kalsinasi Pada Kaca FTO yang Dicoating ZnO Terhadap Efisiensi DSSC (Dye Sensitized Solar Cell) yang Menggunakan Dye Dari Buah Terung Belanda (Solanum betaceum)*. Jurnal Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Pratama, Yosi. 2013. *Pemanfaatan Ekstrak Daun Jati (Tectona grandis linn. F.) sebagai Indikator Titrasi Asam-Basa*. Semarang: UNNES.
- Qutub, Sayyidi. 2000. *Tafsir fi' Dzhilal al-Qur'an*. Jakarta: Gema Insani.

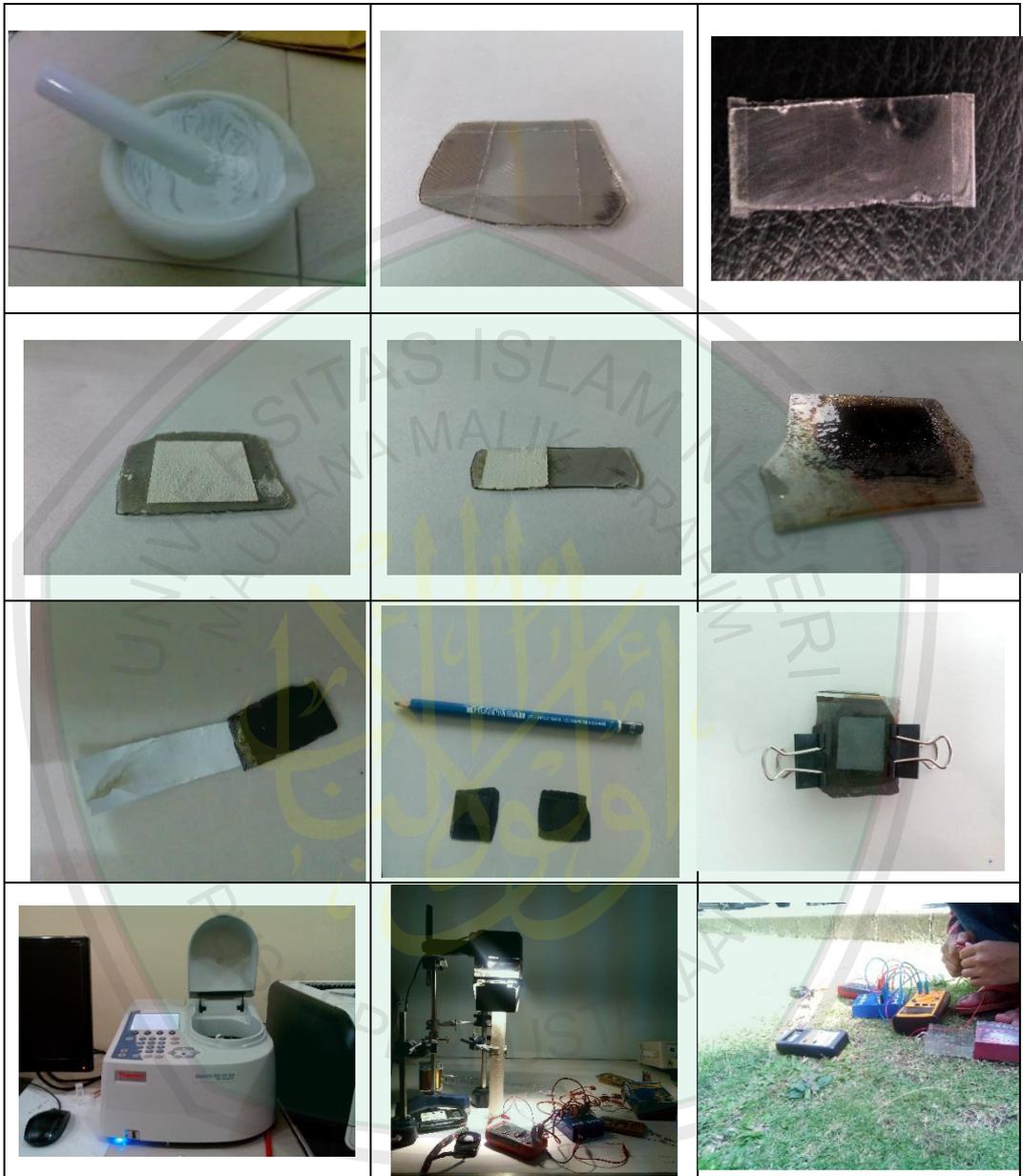
- Rasyidi, Muhsin. 2015. *Analisis Sifat Optik Dari Campuran Serbuk SiO₂-ZnO Dengan Variasi Suhu Sebagai Alternatif Bahan Semikonduktor Pada Sel Surya*. Skripsi. Malang: UIN Maliki Malang.
- Rofi'ah, Iftihatur dan Gontjang P. 2013. *Pengaruh Penggunaan Elektrolit Gel Terhadap Arus dan Tegangan DSSC Prototipe DSSC Ekstrak Kulit Manggis (Garcinia mangostana L.) Sebagai Dye Sensitizer*. Surabaya: ITS.
- Sari dkk. 2012. *Penggunaan Ekstrak Buah Mangsi (Phyllanthus reticulatus Poir), Dadap Merah (Erthythrina variegata), Dan Rhodamin B Pada Sel Surya Pewarna Tersensitisasi (SSPT) Termodifikasi Emas Nanopartikel*. Surabaya: ITS.
- Septiana, Wilman dkk. 2007. *Pembuatan Prototipe Solar Cell Murah dengan Bahan Organik-Inorganik (Dye-sensitized Solar Cell)*. Laporan Akhir Penelitian Bidang Energi. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Setiawan dkk. 2015. *Sel Surya Berbasis Pewarna Alami dan Potensi Pengembangannya di Indonesia sebagai Sumber Energi Alternatif yang Ramah Lingkungan*. Jurnal Teknik Elektro. Bali: Universitas Udayana.
- Shihab, M. Quraish. 2002. *Tafsir al-Misbah: Pesan, Kesan, dan Keserasian Al-Qur'an Vol. 5*. Jakarta: Lentera Hati.
- Soutter, Will. 2012. *Soaking Up the Sun: Drexel-Penn Partnership to Develop More Efficient Dye-Sensitized Solar Panels*. Philadelphia: Britt Faulstick.
- Subodro, Rohmat. 2012. *Sintesa Titanium Dioxide (TiO₂) Untuk Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)*. Surakarta: UNS.
- Sukma, Maya W.K. 2012. *Studi Awal Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Dengan Menggunakan Ekstraksi Daun Bayam (Amaranthus Hybridus L.) Sebagai Dye Sensitizer Dengan Variasi Jarak Sumber Cahaya Pada DSSC*. Jurnal Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sunardi dan Kartika. 2013. *Pengaruh Waktu Milling Titanium Dioksida Doping Dye Tectona grandis Terhadap Sifat Listrik Solar Sel*. Salatiga: UJS.
- Syamsuluri, Sri. 2014. *Pengaruh Konsentrasi Seng Asetat Dehidrat (Zn(CH₃COO)₂.2H₂O) Terhadap Sifat Optik Dan Struktur Kristal ZnO*. Jurnal Fisika. Makassar: Universitas Hasanudin.

- Umam, M. Choirul. 2012. *Sintesa Dan Karakterisasi Sel Surya TiO₂ Tersensitisasi Dye Dari Tinta Sotong Dan Ekstrak Teh Hitam*. Skripsi Program Studi Fisika. Malang: UIN Malang.
- Widiyana, Kasih. 2011. *Penumbuhan Nanopartikel Seng Oksida (ZnO) Yang Disintesis Dengan Metode Sonokimia Dan Pemanfaatannya Sebagai Tinta Pengaman*. Tugas Akhir II. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Widiyastuti dkk. 2011. *Sintesis ZnO:Al Sebagai Bahan Transparent Conducting Oxide (TCO) dengan Metode Spray Pyrolysis*. Jurnal Teknik Kimia. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Widodo, Tjatur, Rusminto. 2003. *Solar Cell: Sumber Energi Masa Depan yang Ramah Lingkungan*. Surabaya: ITS.
- Wijaya, Lany. 2008. *Modifikasi Elektroda Dengan Karbon Nanopartikel Emas Dan Aplikasinya Sebagai Sensor Arsen (III)*. Jakarta: UI.
- Wulandari, Henni Eka. 2012. *Studi Awal Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Ekstraksi Bunga Sepatu (Hibiscus Rosa Sinensis L) Sebagai Dye Sensitizer Dengan Variasi Lama Absorpsi Dye*. Jurnal Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Yuliarto, Brian, PhD. 2011. *Solar Sel*. Bandung: ITB



LAMPIRAN

Lampiran 1
Dokumentasi Foto



Lampiran 2

Data Hasil Karakterisasi UV-Vis Lapisan ZnO-SiO₂

1. Buah Mangsi

TEST SETUP

GENESYS 10S UV-Vis v4.003 2L9P286007

Scanning 6:06am 29Mar16
Test Name A
Measurement
Mode Absorbance
Start Wavelength 200.0nm
Stop Wavelength 1100.0nm
Sample Positioner Auto 6
Scan Speed Fast
Interval 5.0nm
Cell Correction Off
ID# (0=OFF) 1
Auto Save Data On
Data File Name ZNO

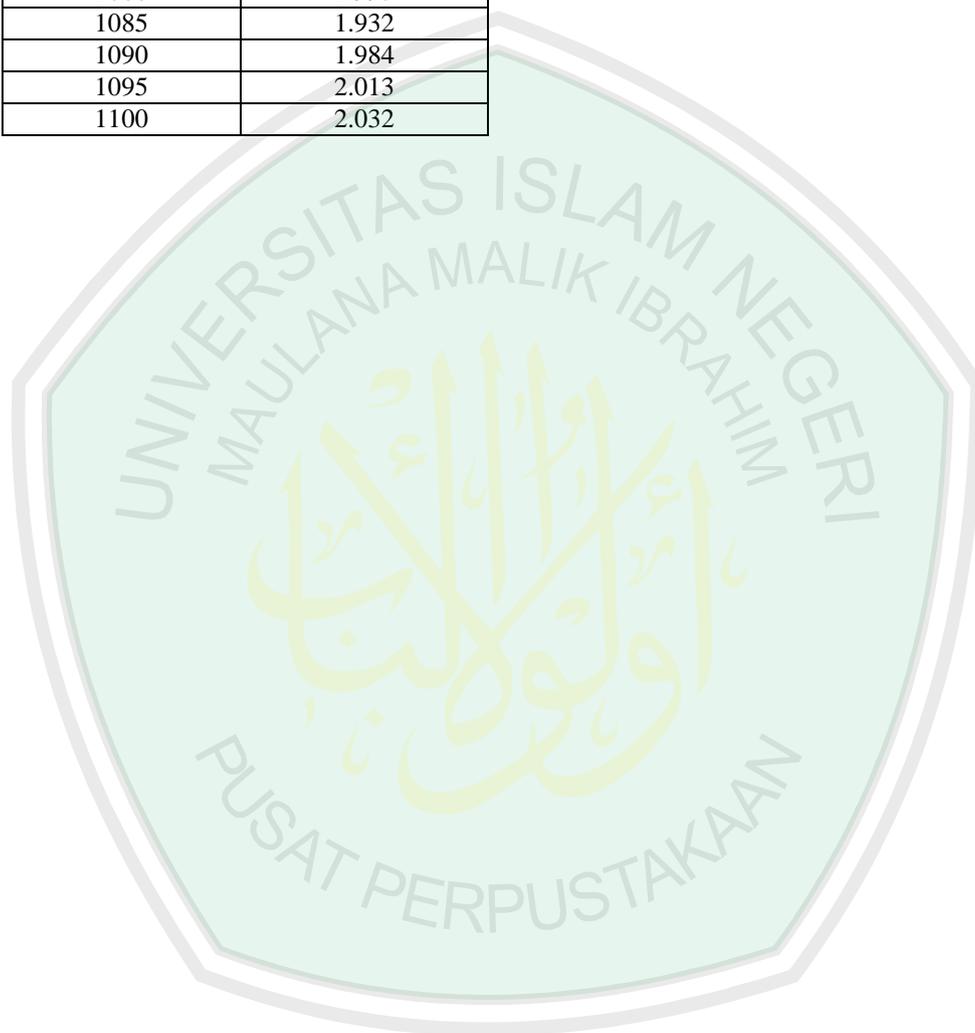
Wavelength	Abs
200	****
205	****
210	****
215	****
220	****
225	****
230	****
235	****
240	****
245	****
250	****
255	****
260	****
265	****
270	****
275	****
280	****
285	****
290	****
295	****
300	****
305	****
310	****
315	****
320	****
325	****
330	****
335	****

340	****
345	****
350	****
355	****
360	****
365	****
370	****
375	****
380	****
385	****
390	4.131
395	4.223
400	3.948
405	4.645
410	4.082
415	3.875
420	3.861
425	3.688
430	3.803
435	3.693
440	3.657
445	3.734
450	3.583
455	3.538
460	3.618
465	3.599
470	3.601
475	3.492
480	3.684

485	3.481
490	3.524
495	3.529
500	3.556
505	3.432
510	3.467
515	3.525
520	3.415
525	3.498
530	3.425
535	3.374
540	3.383
545	3.398
550	3.422
555	3.342
560	3.486
565	3.295
570	3.304
575	3.193
580	3.275
585	3.227
590	3.201
595	3.218
600	3.128
605	3.099
610	3.104
615	2.992
620	3.089
625	3.106
630	3.031
635	3.042
640	2.941
645	2.906
650	2.856
655	2.924
660	2.852
665	2.819
670	2.774
675	2.763
680	2.735
685	2.695
690	2.623
695	2.582
700	2.542
705	2.52
710	2.477
715	2.464
720	2.418
725	2.428
730	2.388
735	2.368
740	2.328
745	2.324
750	2.302
755	2.31

760	2.278
765	2.247
770	2.248
775	2.249
780	2.236
785	2.195
790	2.209
795	2.191
800	2.17
805	2.165
810	2.156
815	2.154
820	2.147
825	2.125
830	2.129
835	2.103
840	2.109
845	2.108
850	2.099
855	2.092
860	2.105
865	2.074
870	2.067
875	2.067
880	2.053
885	2.052
890	2.055
895	2.036
900	2.034
905	2.018
910	2.03
915	2.025
920	2.016
925	2.019
930	2.021
935	2.002
940	2.005
945	1.999
950	1.993
955	1.991
960	1.994
965	1.986
970	1.978
975	1.975
980	1.953
985	1.964
990	1.964
995	1.97
1000	1.968
1005	1.958
1010	1.954
1015	1.958
1020	1.951
1025	1.955
1030	1.968

1035	1.956
1040	1.952
1045	1.952
1050	1.941
1055	1.948
1060	1.954
1065	1.977
1070	1.944
1075	1.994
1080	1.993
1085	1.932
1090	1.984
1095	2.013
1100	2.032



2. Daun Jati

TEST SETUP

GENESYS 10S UV-Vis v4.003 2L9P286
007

Scanning 6:15am 29Mar16
 Test Name A
 Measurement
 Mode Absorbance
 Start
 Wavelength 200.0nm
 Stop
 Wavelength 1100.0nm
 Sample
 Positioner Auto 6
 Scan Speed Fast
 Interval 5.0nm
 Cell Correction Off
 ID# (0=OFF) 1
 Auto Save Data On
 Data File Name JATIZNO

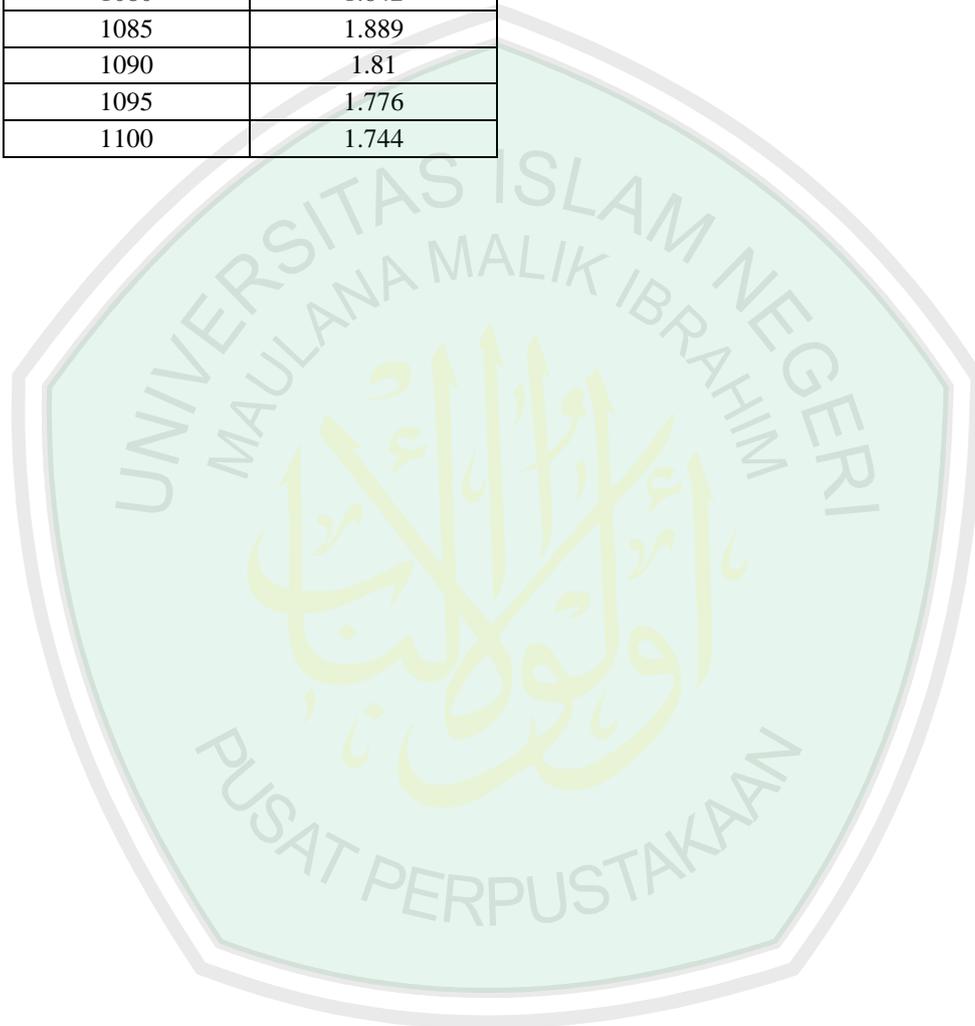
Wavelength	Abs
200	****
205	****
210	****
215	****
220	****
225	****
230	0.299
235	0.493
240	0.82
245	1.204
250	1.485
255	1.619
260	1.96
265	1.911
270	2.047
275	2.114
280	2.211
285	2.276
290	2.339
295	2.424
300	2.428
305	2.412
310	2.46
315	2.491

320	2.442
325	2.552
330	2.504
335	2.528
340	2.518
345	2.582
350	2.523
355	2.589
360	2.635
365	2.557
370	2.521
375	2.578
380	2.565
385	2.593
390	2.606
395	2.623
400	2.58
405	2.62
410	2.598
415	2.59
420	2.662
425	2.669
430	2.578
435	2.569
440	2.612
445	2.623
450	2.6
455	2.588
460	2.653
465	2.592
470	2.56
475	2.564
480	2.591
485	2.642
490	2.621
495	2.583
500	2.572
505	2.562
510	2.589
515	2.569
520	2.604
525	2.638
530	2.649
535	2.626
540	2.643
545	2.624
550	2.583
555	2.574

560	2.606
565	2.611
570	2.613
575	2.629
580	2.58
585	2.579
590	2.607
595	2.623
600	2.622
605	2.64
610	2.647
615	2.597
620	2.652
625	2.613
630	2.64
635	2.622
640	2.625
645	2.605
650	2.609
655	2.602
660	2.585
665	2.572
670	2.583
675	2.564
680	2.575
685	2.526
690	2.506
695	2.49
700	2.497
705	2.471
710	2.453
715	2.433
720	2.423
725	2.45
730	2.389
735	2.368
740	2.334
745	2.317
750	2.327
755	2.311
760	2.314
765	2.301
770	2.29
775	2.279
780	2.266
785	2.259
790	2.244
795	2.231

800	2.251
805	2.207
810	2.207
815	2.212
820	2.18
825	2.169
830	2.157
835	2.18
840	2.159
845	2.156
850	2.152
855	2.161
860	2.145
865	2.148
870	2.135
875	2.136
880	2.116
885	2.063
890	2.097
895	2.102
900	2.083
905	2.1
910	2.074
915	2.082
920	2.048
925	2.073
930	2.068
935	2.055
940	2.057
945	2.054
950	2.05
955	2.041
960	2.045
965	2.046
970	2.038
975	2.033
980	2.048
985	2.023
990	2.025
995	1.995
1000	2.023
1005	2.015
1010	2.006
1015	1.997
1020	2.008
1025	1.995
1030	1.99
1035	1.988

1040	1.982
1045	1.955
1050	1.971
1055	1.948
1060	1.96
1065	1.925
1070	1.878
1075	1.891
1080	1.842
1085	1.889
1090	1.81
1095	1.776
1100	1.744



Lampiran 3

Data Hasil Uji Listrik DSSC

1. Data Hasil Uji Listrik Menggunakan Dye Buah Mangsi

DSSC dengan perendaman 6 jam (matahari)

No	R	V (Volt)	I (A)	Intensitas (Watt/m ²)	P (Watt)	η (%)
1	1×10 ⁵	0.047	4.70E-07	120.2784	2.21E-08	8.16254E-07
2	2×10 ⁵	0.067	3.35E-07	120.7272	2.24E-08	8.26289E-07
3	3×10 ⁵	0.083	2.77E-07	120.8768	2.30E-08	8.44325E-07
4	4×10 ⁵	0.089	2.23E-07	121.6248	1.98E-08	7.23628E-07
5	4.7×10 ⁵	0.094	2.00E-07	122.672	1.88E-08	6.8113E-07
6	6.6×10 ⁵	0.106	1.61E-07	116.3888	1.70E-08	6.50091E-07
7	8.8×10 ⁵	0.114	1.30E-07	68.5168	1.48E-08	9.5796E-07
8	1 ×10 ⁶	0.125	1.25E-07	121.176	1.56E-08	5.73087E-07
9	2.2×10 ⁶	0.139	6.32E-08	120.428	8.78E-09	3.24113E-07
10	~	0.172	#VALUE!	122.2232	#VALUE!	0

DSSC dengan perendaman 6 jam (lampu halogen)

No	R	V (Volt)	I (A)	Intensitas (Watt/m ²)	P (Watt)	η (%)
1	1×10 ⁵	0.102	1.02E-06	35.156	1.04E-07	0.00131528
2	2×10 ⁵	0.124	6.20E-07	35.156	7.69E-08	0.000971922
3	3×10 ⁵	0.134	4.47E-07	35.156	5.99E-08	0.00075667
4	4×10 ⁵	0.139	3.48E-07	35.156	4.83E-08	0.000610643
5	4.7×10 ⁵	0.141	3.00E-07	35.156	4.23E-08	0.000534759
6	6.6×10 ⁵	0.167	2.53E-07	35.156	4.23E-08	0.000534204
7	8.8×10 ⁵	0.174	1.98E-07	35.156	3.44E-08	0.000434945
8	1 ×10 ⁶	0.18	1.80E-07	35.156	3.24E-08	0.000409603
9	2.2×10 ⁶	0.189	8.59E-08	35.156	1.62E-08	0.000205267
10	~	0.196	0	35.156	0	0

DSSC dengan perendaman 12 jam (matahari)

No	R	V (Volt)	I (A)	Intensitas (Watt/m ²)	P (Watt)	η (%)
1	1×10 ⁵	0.022	2.20E-07	93.3504	4.84E-09	2.30434E-07
2	2×10 ⁵	0.029	1.45E-07	89.9096	4.21E-09	2.07863E-07
3	3×10 ⁵	0.052	1.73E-07	84.524	9.01E-09	4.73939E-07
4	4×10 ⁵	0.054	1.35E-07	88.5632	7.29E-09	3.6584E-07
5	4.7×10 ⁵	0.063	1.34E-07	85.4216	8.44E-09	4.39373E-07
6	6.6×10 ⁵	0.09	1.36E-07	85.7208	1.23E-08	6.36315E-07
7	8.8×10 ⁵	0.1	1.14E-07	85.272	1.14E-08	5.92282E-07
8	1 ×10 ⁶	0.101	1.01E-07	89.76	1.02E-08	5.051E-07
9	2.2×10 ⁶	0.132	6.00E-08	89.3112	7.92E-09	3.94128E-07
10	~	0.183	0.00E+00	94.5472	0.00E+00	0

DSSC dengan perendaman 12 jam (lampu halogen)

No	R	V (Volt)	I (A)	Intensitas (Watt/m ²)	P (Watt)	η (%)
1	1×10 ⁵	2.10E-02	2.10E-07	35.156	4.41E-09	5.57515E-05
2	2×10 ⁵	3.40E-02	1.70E-07	35.156	5.78E-09	7.30711E-05
3	3×10 ⁵	4.40E-02	1.47E-07	35.156	6.45E-09	8.15835E-05
4	4×10 ⁵	5.00E-02	1.25E-07	35.156	6.25E-09	7.90129E-05
5	4.7×10 ⁵	5.30E-02	1.13E-07	35.156	5.98E-09	7.55565E-05
6	6.6×10 ⁵	6.00E-02	9.09E-08	35.156	5.45E-09	6.89567E-05
7	8.8×10 ⁵	6.20E-02	7.05E-08	35.156	4.37E-09	5.52228E-05
8	1 ×10 ⁶	6.30E-02	6.30E-08	35.156	3.97E-09	5.01764E-05
9	2.2×10 ⁶	8.00E-02	3.64E-08	35.156	2.91E-09	3.67769E-05
10	~	1.75E-01	0.00E+00	35.156	0.00E+00	0

DSSC dengan perendaman 18 jam (matahari)

No	R	V (Volt)	I (A)	Intensitas (Watt/m ²)	P (Watt)	η (%)
1	1×10 ⁵	0.001	1.00E-08	116.688	1.00E-11	3.80883E-10
2	2×10 ⁵	0.003	1.50E-08	116.5384	4.50E-11	1.71617E-09
3	3×10 ⁵	0.004	1.33E-08	118.4832	5.33E-11	2.0006E-09
4	4×10 ⁵	0.005	1.25E-08	119.3808	6.25E-11	2.32682E-09
5	4.7×10 ⁵	0.007	1.49E-08	120.2784	1.04E-10	3.85237E-09
6	6.6×10 ⁵	0.01	1.52E-08	120.428	1.52E-10	5.59173E-09
7	8.8×10 ⁵	0.011	1.25E-08	119.9792	1.38E-10	5.09348E-09
8	1×10 ⁶	0.017	1.70E-08	123.2704	2.89E-10	1.04197E-08
9	2.2×10 ⁶	0.019	8.64E-09	121.0264	1.64E-10	6.0259E-09
10	~	0.026	#VALUE!	120.8768	#VALUE!	0

DSSC dengan perendaman 18 jam (lampu halogen)

No	R	V (Volt)	I (A)	Intensitas (Watt/m ²)	P (Watt)	η (%)
1	1×10 ⁵	6.00E-03	6.00E-08	35.156	3.60E-10	4.55114E-06
2	2×10 ⁵	8.00E-03	4.00E-08	35.156	3.20E-10	4.04546E-06
3	3×10 ⁵	9.00E-03	3.00E-08	35.156	2.70E-10	3.41336E-06
4	4×10 ⁵	1.20E-02	3.00E-08	35.156	3.60E-10	4.55114E-06
5	4.7×10 ⁵	1.30E-02	2.77E-08	35.156	3.60E-10	4.54576E-06
6	6.6×10 ⁵	1.60E-02	2.42E-08	35.156	3.88E-10	4.90359E-06
7	8.8×10 ⁵	1.80E-02	2.05E-08	35.156	3.68E-10	4.65458E-06
8	1×10 ⁶	1.90E-02	1.90E-08	35.156	3.61E-10	4.56379E-06
9	2.2×10 ⁶	2.50E-02	1.14E-08	35.156	2.84E-10	3.5915E-06
10	~	3.50E-02	0.00E+00	35.156	0.00E+00	0

2. Data Hasil Uji UV-Vis Menggunakan Dye Daun Jati

DSSC dengan perendaman 6 jam (matahari)

No	R	V (Volt)	I (A)	Intensitas (Watt/m ²)	P (Watt)	η (%)
1	1×10 ⁵	0.028	2.80E-07	114.2944	7.84E-09	3.04866E-07
2	2×10 ⁵	0.046	2.30E-07	115.7904	1.06E-08	4.06098E-07
3	3×10 ⁵	0.056	1.87E-07	115.7904	1.05E-08	4.01236E-07
4	4×10 ⁵	0.061	1.53E-07	115.94	9.30E-09	3.56602E-07
5	4.7×10 ⁵	0.092	1.96E-07	114.8928	1.80E-08	6.9663E-07
6	6.6×10 ⁵	0.116	1.76E-07	113.5464	2.04E-08	7.98024E-07
7	8.8×10 ⁵	0.121	1.38E-07	113.3968	1.66E-08	6.52086E-07
8	1 ×10 ⁶	0.13	1.30E-07	104.2712	1.69E-08	7.20344E-07
9	2.2×10 ⁶	0.193	8.77E-08	115.192	1.69E-08	6.53262E-07
10	~	0.332	#VALUE!	115.6408	#VALUE!	#VALUE!

DSSC dengan perendaman 6 jam (lampu halogen)

No	R	V (Volt)	I (A)	Intensitas (Watt/m ²)	P (Watt)	η (%)
1	1×10 ⁵	0.004	4E-08	35.156	1.60E-10	2.02273E-06
2	2×10 ⁵	0.008	4E-08	35.156	3.20E-10	4.04546E-06
3	3×10 ⁵	0.012	4E-08	35.156	4.80E-10	6.06819E-06
4	4×10 ⁵	0.013	3.25E-08	35.156	4.23E-10	5.34127E-06
5	4.7×10 ⁵	0.017	3.62E-08	35.156	6.15E-10	7.77353E-06
6	6.6×10 ⁵	0.025	3.79E-08	35.156	9.47E-10	1.19717E-05
7	8.8×10 ⁵	0.026	2.95E-08	35.156	7.68E-10	9.7114E-06
8	1 ×10 ⁶	0.028	2.8E-08	35.156	7.84E-10	9.91138E-06
9	2.2×10 ⁶	0.055	2.5E-08	35.156	1.38E-09	1.73828E-05
10	~	0.074	0	35.156	0.00E+00	0

DSSC dengan perendaman 12 jam (matahari)

No	R	V (Volt)	I (A)	Intensitas (Watt/m ²)	P (Watt)	η (%)
1	1×10 ⁵	0.081	8.10E-07	133.5928	6.56E-08	2.18E-06
2	2×10 ⁵	0.107	5.35E-07	130.4512	5.72E-08	1.95E-06
3	3×10 ⁵	0.13	4.33E-07	124.4672	5.63E-08	2.01E-06
4	4×10 ⁵	0.131	3.28E-07	136.7344	4.29E-08	1.39E-06
5	4.7×10 ⁵	0.137	2.91E-07	136.2856	3.99E-08	1.30E-06
6	6.6×10 ⁵	0.155	2.35E-07	129.1048	3.64E-08	1.25E-06
7	8.8×10 ⁵	0.158	1.80E-07	132.2464	2.84E-08	9.53E-07
8	1×10 ⁶	0.243	2.43E-07	115.0424	5.90E-08	2.28E-06
9	2.2×10 ⁶	0.303	1.38E-07	96.9408	4.17E-08	1.91E-06
10	~	0.313	0.00E+00	56.2496	0.00E+00	0.00E+00

DSSC dengan perendaman 12 jam (lampu halogen)

No	R	V (Volt)	I (A)	Intensitas (Watt/m ²)	P (Watt)	η (%)
1	1×10 ⁵	5.00E-04	5.00E-09	35.156	2.50E-12	3.16052E-08
2	2×10 ⁵	1.00E-03	5.00E-09	35.156	5.00E-12	6.32103E-08
3	3×10 ⁵	1.10E-03	3.67E-09	35.156	4.03E-12	5.09897E-08
4	4×10 ⁵	1.70E-03	4.25E-09	35.156	7.23E-12	9.13389E-08
5	4.7×10 ⁵	2.10E-03	4.47E-09	35.156	9.38E-12	1.1862E-07
6	6.6×10 ⁵	3.00E-03	4.55E-09	35.156	1.36E-11	1.72392E-07
7	8.8×10 ⁵	3.80E-03	4.32E-09	35.156	1.64E-11	2.07445E-07
8	1×10 ⁶	5.80E-03	5.80E-09	35.156	3.36E-11	4.25279E-07
9	2.2×10 ⁶	6.30E-03	2.86E-09	35.156	1.80E-11	2.28074E-07
10	~	1.45E-02	0.00E+00	35.156	0.00E+00	0

DSSC dengan perendaman 18 jam (matahari)

No	R	V (Volt)	I (A)	Intensitas (Watt/m ²)	P (Watt)	η (%)
1	1×10 ⁵	0.545	5.45E-06	108.1608	2.97E-06	1.22E-04
2	2×10 ⁵	0.604	3.02E-06	118.184	1.82E-06	6.86E-05
3	3×10 ⁵	0.616	2.05E-06	110.1056	1.26E-06	5.11E-05
4	4×10 ⁵	0.628	1.57E-06	108.46	9.86E-07	4.04E-05
5	4.7×10 ⁵	0.632	1.34E-06	108.46	8.50E-07	3.48E-05
6	6.6×10 ⁵	0.639	9.68E-07	109.6568	6.19E-07	2.51E-05
7	8.8×10 ⁵	0.642	7.30E-07	111.9008	4.68E-07	1.86E-05
8	1 ×10 ⁶	0.644	6.44E-07	112.948	4.15E-07	1.63E-05
9	2.2×10 ⁶	0.65	2.95E-07	111.6016	1.92E-07	7.65E-06
10	~	0.664	#VALUE!	111.452	#VALUE!	#VALUE!

DSSC dengan perendaman 18 jam (lampu halogen)

No	R	V (Volt)	I (A)	Intensitas (Watt/m ²)	P (Watt)	η (%)
1	1×10 ⁵	2.40E-03	2.40E-08	35.156	5.76E-11	7.28183E-07
2	2×10 ⁵	3.50E-03	1.75E-08	35.156	6.13E-11	7.74326E-07
3	3×10 ⁵	4.40E-03	1.47E-08	35.156	6.45E-11	8.15835E-07
4	4×10 ⁵	5.70E-03	1.43E-08	35.156	8.12E-11	1.02685E-06
5	4.7×10 ⁵	5.80E-03	1.23E-08	35.156	7.16E-11	9.04849E-07
6	6.6×10 ⁵	6.60E-03	1.00E-08	35.156	6.60E-11	8.34376E-07
7	8.8×10 ⁵	7.70E-03	8.75E-09	35.156	6.74E-11	8.51759E-07
8	1 ×10 ⁶	7.90E-03	7.90E-09	35.156	6.24E-11	7.88991E-07
9	2.2×10 ⁶	9.60E-03	4.36E-09	35.156	4.19E-11	5.29588E-07
10	~	1.70E-02	0.00E+00	35.156	0.00E+00	0



BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Vera Firmanila
NIM : 12640020
Fakultas/ Jurusan : Sains dan Teknologi/ Fisika
Judul Skripsi : Karakterisasi DSSC Pada Semikonduktor ZnO-SiO₂ Dengan Pewarna Ekstrak Buah Mangsi dan Daun Jati
Pembimbing I : Erna Hastuti, M.Si
Pembimbing II : Umaiatus Syarifah, M.A

No	Tanggal	HAL	Tanda Tangan
1	15 Januari 2016	Konsultasi Proses Penelitian	
2	25 Februari 2016	Konsultasi Pengujian Sampel	
3	7 Maret 2016	Konsultasi Data Hasil Uji UV-Vis	
4	14 Maret 2016	Konsultasi Rangkaian Uji Listrik DSSC	
5	1 April 2016	Konsultasi Bab I	
6	7 April 2016	Konsultasi Bab II	
7	15 April 2016	Konsultasi Bab III	
8	2 Mei 2016	Konsultasi Agama	
9	20 Mei 2016	Konsultasi Bab IV	
10	25 Mei 2016	Konsultasi Bab V dan Abstrak	
10	1 Juni 2016	Konsultasi Kajian Agama	
11	3 Juni 2016	ACC Kajian Agama	
		ACC Keseluruhan	

Malang, 6 Juni 2016
Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika



Erna Hastuti, M.Si

NIP. 19811119 200801 2 009